

D. COMȘA

S. DARIE

V. MAIER

M. CHINDRIȘ

# PROIECTAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE INDUSTRIALE



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, BUCUREȘTI — 1983

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI ÎNVAȚĂMINTULUI

Prof. dr. ing. DAN COMȘA  
Conf. dr. ing. SILVIU DARIE  
Șef lucr. ing. VIRGIL MAIER  
Șef lucr. ing. MIRCEA CHINDRIȘ

# **PROIECTAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE INDUSTRIALE**

Ediția a doua



EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, BUCUREȘTI – 1983

## PREFAȚĂ

Cadrul general economic în care apare această a doua ediție a manualului de Proiectare a instalațiilor electrice industriale impune o integrare riguroasă a activității economice în coordonatele eficienței și calității. Este orientarea fermă imprimată dinamicii economiei a României socialiste prin importante documente de partid și de stat, elaborate sub îndrumarea Secretarului general al partidului, președintele R.S. România, tovarășul Nicolae Ceaușescu.

Industria a beneficiat de importante investiții, mari obiective fiind în curs de finalizare. S-a realizat o structură echilibrată a ramurilor industriale și s-a conturat o ierarhizare a contribuției lor la sporirea venitului național. Programul de dezvoltare a energiei, pus sub semnul independenței energetice și a valorificării optimizate a resurselor, este în curs de desfășurare.

În aceste condiții, problematica instalațiilor electrice industriale este supusă unor noi și precise exigențe.

Astfel, actualul stadiu de dezvoltare a energiei industriale a impus o severă și permanentă raportare a conținutului manualului la prevederile actelor normative și ale reglementărilor în vigoare. Reflectarea corectă a spiritului și conținutului documentelor energetice cu caracter obligatoriu, precum și a standardelor de stat aferente domeniului, a constituit o preocupare deosebită a colectivului de autori, în contextul grijii pentru păstrarea caracterului unitar și asigurarea nivelului științific al întregii lucrări.

Concepția conturată de autori în domeniul proiectării instalațiilor electrice industriale, în cadrul primei ediții, a fost primită favorabil de către specialiști, la fel ca și unele noțiuni nou introduse. De un real folos pentru cadrele tehnice, consacrate sau în formare, s-a dovedit a fi capitolul referitor la întocmirea documentației tehnico-economice a instalațiilor electrice. Actualizat și dezvoltat în prezenta ediție, acest capitol se prezintă cititorilor cu ambițiile unei și mai mari utilități și pentru o sferă de interes mai largă.

*Utilizatorul acestui manual găsește în substanța expunerii tehnice, de specialitate, metode concrete și variate de perfecționare a cunoștințelor, care pornesc de la reorganizarea logică a condițiilor și etapelor de proiectare și sfârșesc cu rezolvarea optimizată destinată prelucrării pe calculatorul numeric. Aceste metode constituie totodată modele de instrumente de lucru pentru dezvoltări posibile.*

*Abordând toate aspectele tehnico-inginerești ale proiectării instalațiilor electrice industriale, de la partea de înaltă tensiune la cea de curenți slabi, lucrarea în ansamblu se recomandă a fi utilă studenților de la facultățile Electrotehnică, Energetică, Mecanică și Instalații în construcții, precum și inginerilor, subinginerilor sau tehnicienilor care proiectează, execută sau exploatează instalații electrice industriale.*

**Autorii**



## CUPRINS

<b>Capitolul 1. Instalații electrice la consumatori . . . . .</b>	<b>11</b>	2.3.3. Devizul pe categorii de lucrări . . . . .	54
1.1. Definiții, clasificări . . . . .	11	2.3.4. Devizul pe obiect . . . . .	59
1.2. Compunerea instalațiilor electrice la consumatori . . . . .	13	<b>2.4. Documentația desenată DD . . . . .</b>	<b>59</b>
1.3. Condițiile de calitate în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor . . . . .	15	2.4.1. Marcarea aparatelor și echipamentelor . . . . .	60
1.4. Sarcini electrice de calcul . . . . .	21	2.4.2. Marcarea conductelor electrice . . . . .	62
1.4.1. Metoda coeficienților de cerere . . . . .	22	2.4.3. Clasificarea pieselor desenate . . . . .	63
1.4.2. Metoda formulei binome . . . . .	28	2.4.4. Conținutul pieselor desenate . . . . .	64
1.4.3. Metoda analizei directe . . . . .	30	<b>Capitolul 3. Instalații electrice de înaltă tensiune . . . . .</b>	<b>77</b>
1.4.4. Metoda duratei de utilizare a puterii maxime . . . . .	32	3.1. Instalația de racordare la sistemul energetic . . . . .	77
1.5. Curbe de sarcină . . . . .	33	3.2. Stații de transformare . . . . .	79
1.5.1. Definiție. Clasificări . . . . .	33	3.2.1. Scheme de conexiuni ale circuitelor primare și soluții constructive . . . . .	80
1.5.2. Indicatorii curbelor de sarcină . . . . .	34	3.2.2. Circuite secundare . . . . .	86
<b>Capitolul 2. Documentația tehnico-economică a instalațiilor electrice . . . . .</b>	<b>39</b>	3.2.3. Servicii proprii . . . . .	86
2.1. Nota de comandă NC . . . . .	41	3.2.4. Instalații auxiliare . . . . .	88
2.1.1. Studii și cercetări . . . . .	41	3.2.5. Alegerea numărului și a puterii transformatoarelor . . . . .	88
2.1.2. Nota de fundamentare tehnico-economică NFTE . . . . .	41	3.2.6. Funcționarea economică a transformatoarelor . . . . .	89
2.1.3. Nota de comandă . . . . .	44	3.3. Instalația de distribuție . . . . .	90
2.2. Proiectul de execuție PE . . . . .	46	3.4. Posturi de transformare . . . . .	94
2.2.1. Proiectul de execuție al obiectivului . . . . .	47	3.4.1. Schemele de conexiuni ale circuitelor primare . . . . .	97
2.2.2. Detalii și devize de execuție DDE ale obiectelor . . . . .	49	3.4.2. Circuitele secundare . . . . .	98
2.3. Documentația economică DEc . . . . .	50	3.4.3. Dimensionarea posturilor de transformare . . . . .	98
2.3.1. Piese componente ale DEc . . . . .	50	3.5. Conducte și echipamente de înaltă tensiune . . . . .	102
2.3.2. Documentația tehnico-economică necesară întocmirii devizelor pe categorii de lucrări . . . . .	52	3.5.1. Conducte electrice . . . . .	102

3.5.2. Caracteristicile aparatelor de înaltă tensiune . . . . .	108	3.8.1. Întreruptoare . . . . .	182
3.5.3. Întreruptoare . . . . .	109	3.8.2. Separatoare . . . . .	184
3.5.4. Separatoare . . . . .	112	3.8.3. Bobine de reactanță (reactoare) . . . . .	185
3.5.5. Separatoare de sarcină (STIS) . . . . .	114	3.8.4. Transformatoare de curent . . . . .	185
3.5.6. Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune . . . . .	115	3.8.5. Transformatoare de tensiune . . . . .	186
3.5.7. Descărcătoare . . . . .	115	3.8.6. Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune . . . . .	188
3.5.8. Bobine de reactanță (reactoare) . . . . .	117	3.8.7. Descărcătoare cu rezistență variabilă . . . . .	189
3.5.9. Bobine de stingere . . . . .	119	3.9. Protecția instalațiilor de înaltă tensiune . . . . .	190
3.5.10. Transformatoare de măsură . . . . .	119	3.9.1. Principalele tipuri de protecție prin rele . . . . .	191
3.6. Calculul electric al instalațiilor de înaltă tensiune . . . . .	120	3.9.2. Protecția transformatoarelor . . . . .	193
3.6.1. Parametrii electrici ai transformatoarelor . . . . .	120	3.9.3. Protecția liniilor electrice . . . . .	194
3.6.2. Parametrii liniilor electrice aeriene . . . . .	138	3.9.4. Protecția barelor colectoare și a cuplurilor . . . . .	196
3.6.3. Parametrii electrici ai liniilor în cablu . . . . .	144	3.9.5. Protecția receptoarelor alimentate în medie tensiune . . . . .	196
3.6.4. Pierderile de putere, energie și tensiune în liniile electrice trifazate . . . . .	151	3.9.6. Anclanșarea automată a alimentării de rezervă (AAR) . . . . .	198
3.6.5. Pierderile de tensiune, putere și energie în transformatoarele trifazate de putere . . . . .	154	3.9.7. Reanclanșarea automată rapidă (RAR) . . . . .	199
3.6.6. Criterii tehnico-economice pentru alegerea secțiunii conductoarelor liniilor electrice . . . . .	156	3.10. Compensarea curenților capacitivi și tratarea neutrlui . . . . .	201
3.7. Calculul curenților de scurtcircuit . . . . .	162	3.10.1. Considerații generale . . . . .	201
3.7.1. Noțiuni generale. Metode de calcul . . . . .	162	3.10.2. Regimuri nesimetrice. Tensiunea de deplasare a punctului neutru . . . . .	202
3.7.2. Elemente pentru calculul curenților de scurtcircuit . . . . .	164	3.10.3. Rețele cu neutrul izolat . . . . .	203
3.7.3. Calculul curenților de scurtcircuit prin metoda componentelor simetrice . . . . .	166	3.10.4. Rețele cu neutrul legat direct la pământ . . . . .	206
3.7.4. Calculul curenților de scurtcircuit prin metoda unităților relative . . . . .	171	3.10.5. Rețele cu neutrul tratat prin rezistență sau reactanță . . . . .	207
3.7.5. Calculul curenților de scurtcircuit în cazul regimului asimetric prin metoda unităților relative . . . . .	180	3.10.6. Rețele cu neutrul tratat prin bobină de stingere . . . . .	208
3.8. Alegerea și verificarea echipamentului electric de înaltă tensiune . . . . .	182	3.11. Criterii economice de comparare a variantelor de alimentare . . . . .	211
		Capitolul 4. Instalații electrice de joasă tensiune . . . . .	214
		4.1. Generalități . . . . .	214
		4.2. Schemele rețelelor de distribuție . . . . .	215
		4.3. Schemele rețelelor de alimentare . . . . .	217

4.4. Asigurarea rezervei în alimenta- ea receptoarelor . . . . .	221	5.1.1. Radiațiile vizibile . . . . .	326
4.5. Conducte și echipament electric pentru instalațiile electrice de joasă tensiune . . . . .	226	5.1.2. Mărimi și unități foto- metrice . . . . .	327
4.5.1. Conducte electrice . . . . .	231	5.1.3. Proprietățile fotometrice ale materialelor . . . . .	330
4.5.2. Aparat electrice . . . . .	244	5.2. Surse electrice de lumină . . . . .	331
4.5.3. Tablouri de distribuție . . . . .	263	5.2.1. Clasificare . . . . .	331
4.6. Curentul cerut . . . . .		5.2.2. Mărimi caracteristice . . . . .	332
4.7. Curentul de vîrf . . . . .	274	5.2.3. Lămpi cu incandescență . . . . .	332
4.8. Protecția instalațiilor electrice de joasă tensiune . . . . .	276	5.2.4. Lămpi fluorescente . . . . .	334
4.8.1. Condiții de prevedere a protecției rețelelor electrice . . . . .	277	5.3. Scheme și echipamente de conec- tare la rețea . . . . .	340
4.8.2. Condiții de prevedere a protecției receptoarelor . . . . .	281	5.4. Corpuri de iluminat . . . . .	345
4.9. Selectivitatea protecției . . . . .	282	5.4.1. Generalități . . . . .	345
4.9.1. Generalități . . . . .	282	5.4.2. Caracteristici fotometrice . . . . .	345
4.9.2. Criterii de apreciere a selec- tivității . . . . .	283	5.4.3. Clasificarea corpurilor de iluminat . . . . .	347
4.10. Alegerea aparatelor de protecție și comutație . . . . .	286	5.4.4. Corpuri de iluminat in- dustrial . . . . .	349
4.10.1. Precizări generale . . . . .	286	5.5. Clasificarea instalațiilor electrice de iluminat . . . . .	349
4.10.2. Alegerea protecției re- ceptoarelor și circuitelor . . . . .	287	5.6. Condițiile de calitate ale ilumi- natului . . . . .	361
4.10.3. Alegerea protecției co- loanelor . . . . .	293	5.7. Proiectarea instalațiilor de ilu- minat interior . . . . .	367
4.11. Alegerea conductelor electrice . . . . .	295	5.7.1. Date de proiectare . . . . .	367
4.11.1. Precizări generale . . . . .	295	5.7.2. Alegerea sistemului de ilu- minat și a echipamentului electric . . . . .	370
4.11.2. Determinarea secțiunii conductoarelor . . . . .	299	5.7.3. Stabilirea nivelului de ilu- minare . . . . .	372
4.11.3. Marcarea conductelor . . . . .	314	5.7.4. Amplasarea corpurilor de iluminat general . . . . .	372
4.11.4. Montarea conductelor . . . . .	315	5.7.5. Calculul fotometric prin metoda factorului de uti- lizare . . . . .	376
4.12. Pierderi de tensiune . . . . .	317	5.7.6. Definitivarea tipului de sursă de lumină și de corp de iluminat . . . . .	379
4.13. Tabloul general din postul de transformare . . . . .	319	5.7.7. Caracteristicile instalației de iluminat normal . . . . .	379
4.14. Curenți de scurtcircuit . . . . .	321	5.7.8. Metoda punct cu punct pentru calculul iluminări- lor directe . . . . .	380
4.14.1. Generalități . . . . .	321	5.7.9. Întocmirea schemei de distribuție . . . . .	388
4.14.2. Calculul curenților de scurtcircuit . . . . .	322	5.8. Instalații de iluminat exterior . . . . .	389
4.14.3. Verificarea aparatelor la acțiunea curenților de scurtcircuit . . . . .	323	5.8.1. Generalități . . . . .	389
4.14.4. Verificarea conductelor la acțiunea curenților de scurtcircuit . . . . .	324	5.8.2. Proiectarea instalațiilor de iluminat exterior . . . . .	390
Capitolul 5. Instalații electrice de lu- minat . . . . .	326		
5.1. Noțiuni fundamentale în tehnica iluminatului . . . . .	326		

<b>Capitolul 6. Instalații pentru compensarea puterii reactive . . . . .</b>	<b>393</b>	<b>7.5.3. Echipamentul electric al filtrelor . . . . .</b>	<b>430</b>
6.1. Generalități . . . . .	393	<b>Capitolul 8. Circuite secundare . . . . .</b>	<b>431</b>
6.2. Cauzele și efectele consumului de putere reactivă . . . . .	393	8.1. Măsurători electrice în instalațiile de distribuție . . . . .	431
6.3. Mijloace pentru compensarea consumului de putere reactivă . . . . .	396	8.2. Circuite de comandă și control . . . . .	432
6.4. Alegerea surselor specializate de putere reactivă . . . . .	396	8.3. Dispozitive pentru protecția selectivă rapidă a instalațiilor de medie tensiune . . . . .	433
6.5. Condensatoare derivație . . . . .	398	8.4. Instalații pentru telecomunicații uzinale . . . . .	438
6.5.1. Caracteristicile condensatoarelor . . . . .	398	8.4.1. Instalații de telefonie . . . . .	438
6.5.2. Calculul bateriei de condensatoare . . . . .	400	8.4.2. Instalații de telefonie telefonică (dispecer) . . . . .	439
6.5.3. Conectarea și deconectarea bateriilor de condensatoare . . . . .	402	8.4.3. Instalații de interfon . . . . .	440
6.5.4. Descărcarea bateriilor de condensatoare . . . . .	405	8.4.4. Instalație pentru căutarea și chemarea persoanelor . . . . .	440
6.5.5. Echipamentul electric și schemele de principiu ale bateriilor de condensatoare . . . . .	405	8.4.5. Instalații radio . . . . .	441
6.6. Condensatoare sincrone . . . . .	411	8.4.6. Instalații de ceasificare . . . . .	442
6.7. Compensarea variațiilor rapide ale consumului de putere reactivă . . . . .	411	8.4.7. Instalații pentru semnalizarea incendiilor . . . . .	443
6.8. Eficiența economică a compensării puterii reactive . . . . .	412	<b>Capitolul 9. Instalații de protecție împotriva electrocutării . . . . .</b>	<b>446</b>
6.8.1. Metoda cheltuielilor totale actualizate . . . . .	412	9.1. Generalități . . . . .	445
6.8.2. Calculul puterilor și energiei . . . . .	414	9.2. Valori maxim admise ale mărimilor în instalațiile de protecție împotriva electrocutării . . . . .	447
6.8.3. Calculul cheltuielilor anuale și a eficienței economice . . . . .	416	9.2.1. Valori maxim admise ale curentului prin om . . . . .	448
6.8.4. Comparația tehnico-economică între motorul sincron și motorul asincron compensat . . . . .	418	9.2.2. Valori maxim admise pentru tensiuni de lucru, tensiuni de atingere și tensiuni de pas . . . . .	448
<b>Capitolul 7. Instalații pentru reducerea regimului deformant. . . . .</b>	<b>420</b>	9.2.3. Valori maxim admise ale tensiunilor induse în rețelele de energie electrică de joasă tensiune . . . . .	452
7.1. Cauzele și efectele regimului deformant . . . . .	420	9.2.4. Valori maxim admise ale tensiunilor induse în conducte pentru transportul fluidelor și alte obiecte metalice lungi. . . . .	453
7.2. Condensatoarele în regim deformant . . . . .	421	9.3. Determinarea curentului care trece prin corpul omului . . . . .	454
7.3. Efectele regimului deformant în instalațiile electrice . . . . .	422	9.4. Protecția împotriva electrocutării . . . . .	454
7.4. Mijloace pentru reducerea regimului deformant . . . . .	423	9.4.1. Protecția împotriva electrocutării prin atingere directă . . . . .	457
7.5. Filtre absorbante . . . . .	425		
7.5.1. Caracteristicile filtrelor . . . . .	425		
7.5.2. Proiectarea filtrelor . . . . .	427		

9.4.2. Protecția împotriva electrocutării prin atingere indirectă . . . . .	457
9.4.3. Protecția prin legare la nul . . . . .	458
9.4.4. Alimentarea la tensiune redusă. . . . .	466
9.4.5. Separarea de protecție . . . . .	466
9.4.6. Protecția prin legare la pământ . . . . .	468
9.4.7. Izolarea suplimentară de protecție . . . . .	493
9.4.8. Egalizarea potențialelor . . . . .	493
9.4.9. Protecția prin deconectarea automată a sectorului defect . . . . .	494
9.4.10. Dispozitive electronice utilizate în protecția împotriva electrocutării . . . . .	496

Capitolul 10. Instalații de protecție contra trăsnetului . . . . .	498
10.1. Generalități . . . . .	498
10.2. Condiții pentru instalațiile de protecție contra trăsnetului . . . . .	500
10.2.1. Materiale și dimensiuni . . . . .	500
10.2.2. Distanțe minime admise . . . . .	502
10.2.3. Protejarea IPT . . . . .	503
10.3. Elementele instalației de protecție . . . . .	504
10.3.1. Elemente de captare . . . . .	504
10.3.2. Elemente de coborire . . . . .	505
10.3.3. Priza de pământ . . . . .	505
10.4. Proiectarea și executarea IPT . . . . .	507
10.4.1. Elemente de captare . . . . .	507
10.4.2. Elemente de coborire . . . . .	514
10.4.3. Priza de pământ . . . . .	516
Bibliografie . . . . .	518





## Capitolul 1

# INSTALAȚII ELECTRICE LA CONSUMATORI

### 1.1. DEFINIȚII, CLASIFICĂRI

*Instalația electrică* definește un ansamblu de echipamente electrice interconectate într-un spațiu dat, formînd un singur tot și avînd un scop funcțional bine determinat [67].

În diversitatea cazurilor concrete, care pot fi luate în considerare, comun este faptul că orice instalație electrică presupune o serie de echipamente electrice, precum și interconexiunile dintre acestea, realizate prin diferite tipuri de conducte electrice.

Prin *echipament electric* se înțelege, în general, orice dispozitiv întreg pentru producerea, transformarea, distribuția, transportul sau utilizarea energiei electrice. Această ultimă destinație, reprezentînd scopul final al întregului proces de producere, transport și distribuție, definește o categorie distinctă de echipamente, denumite receptoare. *Receptoarele electrice* sînt dispozitive care transformă energia electrică în altă formă de energie utilă.

Receptoarele electrice se împart în :

- receptoare de iluminat, cuprinzînd corpurile de iluminat prevăzute cu surse electrice de lumină ;

- receptoare de forță, care pot fi electromecanice (motoare electrice, electromagneți, electroventile), electrotermice (cuptoare electrice, agregate de sudură) sau electrochimice (băi de electroliză).

Tipul receptoarelor electrice are o influență majoră asupra alcătuirii întregii instalații din care acestea fac parte, determinînd atît tipul și caracteristicile restului echipamentelor și conductelor electrice, cît și tehnologia de execuție.

În majoritatea cazurilor, receptoarele electrice nu sînt elemente izolate, ele fiind grupate pe utilaje cu destinații tehnologice bine determinate. Ansamblul utilajelor și receptoarelor izolate care necesită alimentare cu energie electrică și concură la realizarea procesului de producție dintr-o hală sau întreprindere, face parte din echipamentul tehnologic al acestora.

Cînd se fac referiri la anumite instalații concrete, prin echipamentul electric al acestora se înțelege totalitatea mașinilor, aparatelor, dispozitivelor și receptoarelor electrice atașate instalației respective (sau utilajului respectiv). În această accepțiune, esențial este faptul că suma de aparate, mașini sau alte dispozitive care intră în compunerea echipamentului, reprezintă un tot unitar, cu o funcționalitate bine determinată.

În practică, noțiunile de instalație și echipament sînt strîns corelate. Astfel, un dispozitiv considerat ca echipament al unei instalații, poate avea el însuși o instalație electrică proprie și un echipament destul de complex și divers.

Instalațiile electrice se clasifică după diferite criterii, ca: rolul funcțional, poziția în raport cu procesul energetic, locul de amplasare, nivelul tensiunii, frecvența și modul de protecție.

a. După rolul funcțional, instalațiile electrice pot fi:

- de *producere* a energiei electrice, aferente diferitelor tipuri de centrale electrice sau unor grupuri electrogene;

- de *transport* a energiei electrice, incluzând linii electrice (racord, distribuitor, coloană și circuit);

- de *distribuție* a energiei electrice — stații electrice, posturi de transformare și tablouri de distribuție;

- de *utilizare* a energiei electrice, care la rîndul lor se diferențiază în raport cu tipul receptoarelor, în instalații de forță și instalații de iluminat;

- *auxiliare*, din care fac parte instalațiile cu funcție de menținere a calității energiei electrice (reducerea efectului deformant, compensarea regimului dezechilibrat, reglajul tensiunii), de asigurare a unei distribuții economice a acestora (compensarea puterii reactive), pentru protecția personalului împotriva electrocutărilor (legarea la pământ, legarea la nul etc.), pentru protecția clădirilor și a bunurilor (instalațiile de paratrăsnet, de avertizare de incendiu), precum și instalațiile de telecomunicații.

b. După poziția ocupată în raport cu procesul energetic la care concurează, se deosebesc:

- *instalații de curenți tari*, care cuprind elementele primare implicate în procesul de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice;

- *instalații de curenți slabi*, care deși nu sînt inseriate în circuitul fluxului energetic principal, concurează la realizarea în condiții corespunzătoare a proceselor energetice. Din această categorie fac parte instalațiile de automatizare, măsură și control (AMC), de avertizare de incendii, de telecomunicații etc.

În mod asemănător, instalațiile complexe se compun din circuite *primare* sau de forță și circuite *secundare* sau de comandă, cele două părți diferențiindu-se funcțional ca și instalațiile de curenți tari, respectiv slabi.

c. În raport cu locul de amplasare, se deosebesc următoarele categorii de instalații:

- *pe utilaj*, un caz deosebit reprezentîndu-l amplasarea pe vehicule;

- *în interiorul clădirilor*, în diferite categorii de încăperi;

- *în exterior*, în diferite condiții de mediu.

d. După nivelul tensiunii, instalațiile se clasifică în:

- instalații de *joasă tensiune* (JT), a căror tensiune de lucru este sub 1 kV;

- instalații de *medie tensiune* (MT), cu tensiuni de lucru în intervalul 1 ... 20 kV;

- instalații de *întîlă tensiune* (IT), cu tensiuni de lucru între 35 ... 110 kV;

- instalații de *foarte întîlă tensiune*, funcționînd la tensiuni mai mari sau egale cu 220 kV.

În practică, domeniile de valori corespunzătoare acestor divizări diferă, în raport cu apartenența instalației la o categorie funcțională sau alta. Referindu-se la nivelul tensiunii, normativele în vigoare [41, 55]

diferențiază instalațiile în instalații sub 1 000 V (joasă tensiune) și peste 1 000 V (înalță tensiune).

e. După frecvența tensiunii, se deosebesc instalații:

- de *curent continuu*;
- de *curent alternativ*. La rîndul lor, acestea pot fi, în raport cu valoarea frecvenței: de frecvență joasă (0,1 ... 50 Hz), industrială (50 Hz), medie (100 ... 10 000 Hz), sau de înaltă frecvență (peste 10 000 Hz).

f. Din punct de vedere al modului de protecție, instalațiile pot fi:

- de *tip deschis*, față de care persoanele sînt protejate numai împotriva atingerilor accidentale a părților aflate sub tensiune;
- de *tip închis*, la care elementele componente sînt protejate contra atingerilor, pătrunderii corpurilor străine peste 1 mm, a picăturilor de apă și a deteriorărilor mecanice;

- de *tip capsulat*, la care elementele componente sînt protejate contra atingerilor, pătrunderii corpurilor străine de orice dimensiuni, a stropilor de apă din toate direcțiile și contra deteriorărilor mecanice.

## 1.2. COMPUNEREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE LA CONSUMATORI

Consumatorul de energie electrică este alcătuit din totalitatea receptoarelor dintr-un anumit spațiu sau dintr-o întreprindere. Avînd în vedere corelațiile de natură tehnologică dintre diversele laturi ale procesului de producție, la care concură și instalațiile electrice, se poate afirma că receptoarele electrice, care în ansamblu formează consumatorul, sînt legate printr-un scop funcțional.

Instalațiile electrice la consumator se compun din:

- receptoare electrice;
- rețele electrice și puncte de alimentare (distribuție);
- echipamente de conectare, protecție, AMC etc., adică restul echipamentelor electrice, în afară de receptoare.

Schema de distribuție generalizată pentru instalațiile electrice la consumator este prezentată în figura 1.1. Alimentarea cu energie electrică a consumatorului, alcătuit din receptoarele de joasă tensiune  $m_j$  și cele de medie tensiune  $m_m$ , se realizează în înaltă tensiune de la stația SSE a sistemului energetic prin

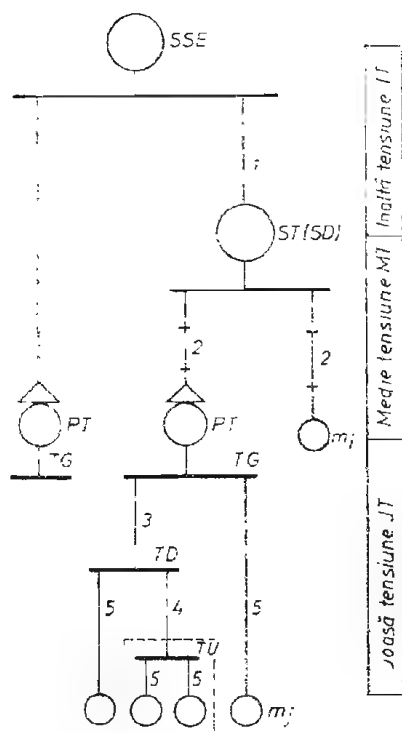


Fig. 1.1. Compunerea instalațiilor electrice la consumator:

SSE — stația sistemului energetic; ST(SD) — stație de transformare (distribuție); PT — post de transformare; TG — tablou general de distribuție; TD — tablou de distribuție; TC — tablou de forță utilaj;  $m_m$  — receptor înaltă tensiune;  $m_j$  — receptor joasă tensiune; 7 — racord înaltă tensiune; 2 — distribuitor; 3 — coloană; 4 — circuit utilaj; 5 — circuit receptor.

intermediul racordului de înaltă tensiune 1 (linie electrică aeriană sau subterană). Acesta alimentează o stație de transformare *ST* (pentru tensiuni de alimentare mai mari de 35 kV) sau o stație de distribuție *SD*; dacă alimentarea cu energie a consumatorului se face prin intermediul unui singur post de transformare *PT*, acesta se racordează direct la barele stației sistemului (în stînga figurii).

Racordarea consumatorilor la sistemul electroenergetic național se face, de regulă, printr-o singură linie electrică de alimentare. Aceasta va fi prevăzută cu numărul minim de circuite necesare tranzitului energiei electrice în condiții economice și la parametri de calitate și siguranță ceruți de consumator [45].

Punctul de separație între furnizor și consumator se numește punct de delimitare. Două puncte de delimitare se consideră distincte dacă prin fiecare din ele se poate asigura puterea necesară la consumator, în cazul dispariției tensiunii în celălalt punct, la parametrii de calitate și de siguranță stabiliți prin proiect [45]. Asigurarea continuității în alimentarea consumatorului din puncte de delimitare distincte presupune funcționarea reușită a automaticii de sistem și a sistemului de alimentare extern în ansamblu.

Nodul electric din amonte de punctul de delimitare constituie sursa în raport cu consumatorul considerat.

Din punctul de alimentare, reprezentat de barele stației *ST* (sau *SD*), se alimentează diferitele posturi de transformare *PT*, precum și receptoarele de medie tensiune  $m_i$ , prin intermediul liniilor 2, numite distribuitoare; în practică se folosește denumirea de fider pentru distribuitorul care alimentează posturi de transformare sau puncte de alimentare intermediare.

De la barele de joasă tensiune ale posturilor de transformare se alimentează receptoarele de joasă tensiune  $m_i$  ale consumatorului. Receptoarele mai importante sau cele de puteri mai mari se racordează adeseori direct la tabloul general *TG*. În general, se realizează puncte de distribuție intermediare, reprezentate de tablourile de distribuție *TD*. Liniile care alimentează tablourile de distribuție se numesc coloane. O parte din receptoarele de joasă tensiune sînt grupate pe utilaje care avînd o instalație electrică proprie, au și un tablou de distribuție *TU* al utilajului. Linia 4, care leagă tabloul de utilaj la tabloul de distribuție constituie un circuit de utilaj. Liniile de alimentare 5 ale receptoarelor se numesc circuite.

Instalația electrică înseriată între sursă și un punct de consum considerat se numește cale de alimentare, aceasta putînd cuprinde linii aeriene și în cabluri, întreruptoare, separatoare, transformatoare, reactoare etc. Indisponibilitatea oricărui element nerezervat al căii de alimentare conduce la întreruperea alimentării în punctul de consum respectiv.

Două căi de alimentare se consideră independente dacă un defect unic sau lucrările de reparații și întreținere la elementele unei căi nu conduc la scoaterea din funcțiune a celeilalte căi.

Întreruperea căilor de alimentare a unui consumator poate fi:

- simplă, în cazul indisponibilității accidentale sau programate a unei singure căi de alimentare;

- dublă sau multiplă, care afectează în același timp două sau mai multe căi de alimentare care se rezervează reciproc.

La consumatori, se pot întâlni centrale electrice proprii, a căror realizare poate fi determinată de:

- necesitatea de recuperare maximă, justificată economic, a resurselor energetice secundare sau de valorificare complexă a produselor;

- necesitatea producerii combinate de energie electrică și termică, fundamentată economic prin calcule;

- existența unui procent important de receptoare de categoria zero (v. subcap. 1.3);

- eficiența economică a alimentării unor receptoare de categoria I (v. subcap. 1.3), pentru care duratele de revenire a tensiunii în caz de întrerupere în sistem nu sînt satisfăcătoare.

Dacă se are în vedere că unii consumatori au centrale electrice proprii, se constată că în cadrul instalațiilor electrice la consumatori se disting părți cu funcționalități care acoperă întreg procesul de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice.

### 1.3. CONDIȚIILE DE CALITATE ÎN ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ A CONSUMATORILOR

Pentru buna funcționare a receptoarelor, alimentarea cu energie electrică trebuie să îndeplinească o serie de condiții referitoare la tensiune, frecvență, putere și continuitate. Prezentarea detaliată a acestor condiții se sistematizează în cele ce urmează.

a. Tensiunea constantă, ca valoare și formă, constituie o primă condiție pentru orice tip de receptor.

Este recomandabil ca tensiunea la bornele receptoarelor să fie constantă și egală cu cea nominală sau variațiile posibile să se încadreze în limitele precizate pentru fiecare receptor în parte. În exploatarea instalațiilor electrice apar variații de tensiune, cauzate de consumator, datorită variațiilor de sarcină sau scurtcircuitelor. Aceste variații pot fi lente, cauzate de modificarea în timp a încărcării receptoarelor, sau rapide — cauzate de scurtcircuite sau de modificări rapide ale sarcinii (de exemplu cupatoare cu arc, utilaje de sudare, laminoare, compresoare, mașini cu cuplu pulsatoriu ș.a.), inclusiv cele datorate conectărilor — deconectărilor de receptoare.

Se folosește denumirea de gol de tensiune pentru orice scădere a valorii eficace a tensiunii unei rețele electrice cu o amplitudine cuprinsă între o valoare minimă sesizabilă (circa  $0,2 U_n$ ) și  $U_n$  și o durată de cel mult 3 s.

Dintre receptoarele și instalațiile sensibile la goluri de tensiune fac parte următoarele:

- motoarele și compensatoarele sincrone;
- motoarele asincrone (în funcție de caracteristica cuplului rezistent);
- echipamentele electronice, inclusiv redresoarele comandate;
- contactoarele de 0,4 kV și cele din circuitele secundare;
- automata, protecția, blocajele și reglajele din circuitele tehnologice.

O diminuare cu caracter permanent a valorii tensiunii poate fi consecința subdimensionării secțiunii conductoarelor, situație cu urmări negative ca: distrugerea izolației electrice, nefuncționarea echipamentului și suprasolicitarea termică a receptoarelor și conductelor.

Tensiunile de alimentare mai mari decât cele nominale determină funcționarea în suprasarcină a unor receptoare de forță și reducerea duratei de viață a receptoarelor de iluminat. Scăderea tensiunii sub valoarea nominală atrage după sine solicitarea termică (la motoarele electrice), funcționarea la parametri inferiori (la cuptoarele electrice) sau chiar nefuncționarea unor receptoare sau instalații (desprinderea electromagneților, a motoarelor asincrone ș.a.).

Problema formei tensiunii se pune atât în cazul receptoarelor alimentate în curent continuu, cât și în cazul celor alimentate în curent alternativ.

Tensiunea continuă la bornele receptoarelor de curent continuu poate avea o serie de armonici, mai ales dacă sursa de tensiune este un redresor semicomandat sau comandat. Conținutul de armonici este limitat în funcție de efectele acestora asupra receptoarelor, prin precizarea coeficientului de distorsiune admis.

Abaterea de la forma sinusoidală a unei de tensiune determină funcționarea receptoarelor de curent alternativ în regim deformant. În timp ce la unele receptoare, cum sînt cuptoarele cu inducție, prezența armonicilor în unda de tensiune nu deranjează, la altele — printre care și motoarele electrice — prezența armonicilor de tensiune trebuie limitată tot prin precizarea coeficientului de distorsiune admis.

Coeficientul de distorsiune  $k_d$  al unei de tensiune se definește ca raportul dintre valoarea eficace a rezidului deformant  $U_d$  și valoarea eficace  $U$  a unei de tensiune,

$$k_d = \frac{U_d}{U}, \quad (1.1)$$

în care rezidul deformant are expresia

$$U_d = \sqrt{\sum_{i=2}^n U_i^2}, \quad (1.2)$$

unde  $U_i$  este valoarea eficace a armonicii  $i$ , iar  $n$  poate fi limitat la  $n = 13$  pentru calculele practice.

Coeficientul de distorsiune total, rezultat din funcționarea receptoarelor consumatorului și din condițiile din sistemul electroenergetic, se limitează [45] la valoarea:

$$k_d \leq 0,05, \quad (1.3)$$

adică la 5%.

Cauzele distorsiunii unei sinusoidale de tensiune se găsesc în cea mai mare parte la consumator. În timp ce o serie de echipamente, cum sînt bobinele cu miez feromagnetic, receptoarele cu arc electric și mutatoarele reprezintă surse de armonici de tensiune și curent, elementele reactive de circuit ca bobinele și condensatoarele constituie amplificatoare de armonici de tensiune, respectiv de curent. În cadrul instalațiilor electrice la consumator, trebuie luate măsuri pentru reducerea efectelor deformante și a influenței asupra rețelei de alimentare.



**b.** Frecvența constantă a tensiunii de alimentare constituie un deziderat major atât pentru buna funcționare a receptoarelor, menținerea preciziei aparatelor de măsură, cât și pentru mașinile de lucru antrenate prin motoare de curent alternativ. Variațiile frecvenței pot fi cauzate de variații importante de sarcină sau de avarii grave în sistem, originea unor asemenea cauze putând fi și consumatorii de energie electrică.

Menținerea constantă a frecvenței industriale (50 Hz) este o problemă la nivel de sistem energetic, fiind legată de puterea în rezervă din centralele electrice ale sistemului și de operativitatea dispeceratului. În anumite situații, când posibilitățile de producere a energiei electrice în centrale sînt limitate, se decide întreruperea alimentării unor consumatori (sacri-ficarea distribuitorilor), în scopul menținerii frecvenței în sistem.

Abaterile maxime admise ale frecvenței sînt de  $\pm 0,5$  Hz.

**c.** Simetria tensiunilor este condiția în baza căreia sistemului tensi-unilor de fază trebuie să-i corespundă trei faze egale și defazați cu  $120^\circ$ .

Cauzele nesimetriei sînt pe de o parte instalațiile de producere și transport, independente de consumator, iar pe de altă parte sarcinile dezechilibrate ale consumatorilor.

Consecințele nesimetriei tensiunilor se studiază prin metoda compo-nentelor simetrice, cînd se determină pe lîngă componentele directe și componentele inverse și homopolare. Ultimele sînt cauzele unor cupluri de fîinare, respectiv încălzire și vibrații la motoarele de curent alternativ.

Nesimetria tensiunilor se exprimă printr-un coeficient de nesimetrie  $\delta_{vN}$ , dat de relația

$$\delta_{vN} = (\underline{U}_A + a^2 \underline{U}_B + a \underline{U}_C) \frac{100}{U_N \sqrt{3}}, \quad \%, \quad (1.4)$$

în care  $\underline{U}_A$ ,  $\underline{U}_B$ ,  $\underline{U}_C$  reprezintă fazele tensiunilor de fază, în V;

$U_N$  — tensiunea nominală a rețelei, în V;

$a = e^{j \frac{2\pi}{3}}$  — operatorul de rotație.

Nesimetria tensiunii este admisă în limitele de pînă la 2%

$$\delta_{vN} \leq 2\% \quad (1.5)$$

pe o durată îndelungată, la bornele oricărui receptor electric simetric, trifazat [45].

**d.** Puterea necesară este o condiție globală a consumatorilor și unul dintre criteriile esențiale în proiectare.

În funcție de puterea maximă absorbită în punctul de racordare, con-form normativului [45], se stabilesc patru clase de consumatori de ener-gie electrică din sistemul electroenergetic, prezentate în tabelul 1.1.

În același tabel, se indică treapta de tensiune minimă care trebuie să existe în stația de racord, posibilitățile de alimentare din această sta-ție și momentul sarcinii.

Consumatorii cu puteri absorbite maxime de 50 kVA se alimentează din rețeaua de joasă tensiune.

Sarcina maximă de durată se stabilește pentru un interval de cerere de 15, 30 sau 60 min, stînd la baza calculelor de dimensionare a elemen-telor rețelei din condiții termice și de determinare a pierderilor de putere.

Clasele de consumatori și recomandări de alimentare cu energie electrică a acestora [45]

Clasa	Puterea cerută, [MVA]	Treapta de tensiune minimă în punctul de racord, [kV]	Posibilități de alimentare		Momentul sarcinii [MVA · km]
			Direct la tensiunea de, [kV]	Prin transforma- toare de	
D	0,05—2,5	6* 10 20	6*—20	6/0,4 kV* 10/0,4 kV 20/0,4 kV	max. 3 max. 8
C	2,5—7,5	20* 110	20 110	20/0,4 kV 20/6 kV 110/MT	30...80
B	7,5—50	110	110	110/MT	max. 1500
A	peste 50	110* 220 400**	110 220 —	110/MT 220/MT 220/110 kV 400/110 kV	peste 1500

\* Trepte de tensiune admise în cazuri justificate;

\*\* Pentru puteri cerute mai mari de 250 MVA.

Există și sarcini maxime de scurtă durată (de vîrf), care pot dura 1...10 s și care se iau în considerare la calculul fluctuațiilor de tensiune din rețea, la reglajul protecțiilor maximele ș.a.

Modul în care necesitățile de consum de energie electrică sînt asigurate în timp consumatorului de către furnizor este caracterizat prin gradul de satisfacere a alimentării consumatorului în punctul de delimitare. Această mărime, notată cu  $C$ , se definește ca raportul dintre durata probabilă de alimentare și durata de alimentare cerută

$$C = \frac{T_c - T_n}{T_c} 100, \% \quad (1.6)$$

în care  $T_c$  este intervalul de timp din cadrul unui an calendaristic în care consumatorul solicită criteriul de siguranță;

$T_n$  — durata probabilă de nealimentare în perioada considerată.

Gradul de satisfacere în alimentare poate fi determinat pentru diferite nivele de puteri cerute [45].

Alimentarea cu energie electrică a consumatorilor aparținînd diverselor clase se poate realiza din sistemul electroenergetic la următoarele niveluri de siguranță:

— nivelul 1, prin două căi de alimentare independente, dimensionate fiecare pentru puterea cerută la consumator (rezervă de 100% în căi de alimentare) și prin două puncte distincte de racord (rezervă de 100% în surse). Realimentarea consumatorilor, în caz de avarie a unei căi, se prevede a se realiza prin comutarea automată a consumului pe calea neavariată, cu o discontinuitate de maximum 3 s;

— nivelul 2, prin două căi de alimentare care nu sînt în mod obligatoriu independente (rezervă de 100% în linii electrice) și de regulă, printr-un singur punct de racord. Realimentarea consumatorului în caz

de întrerupere simplă (avarie a unei căi) se poate face numai după identificarea defectului și efectuarea unor manevre manuale de izolare a acestuia, după o întrerupere de 0,5 ... 8 h, în funcție de clasa consumatorului, structura rețelei de alimentare și poziția centrului de intervenție în raport cu locul manevrelor;

— nivelul 3, printr-o singură cale de alimentare. Realimentarea consumatorului în caz de avarie se poate face numai după repararea sau înlocuirea elementelor defecte.

Caracteristicile complete ale nivelurilor de siguranță sînt concentrate în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2

Duratele de realimentare a consumatorilor în raport cu clasa acestora și nivelele de rezervare

Nivelul de rezervare	Gradul de satisfacere minim	Consum asigurat în caz de întrerupere simplă	Clasa				Observații
			A	B	C	D	
1	99,8	Integral (100%)	3s				Durata de acționare a automatizării de sistem
2	99,5	Integral (100%)	0,5 h	2 h	2 ... 8 h		Durata necesară efectuării de manevre pentru izolarea defectului și realimentarea pe calea de rezervă: prin comandă manuală din stațiile cu personal permanent — 0,5 h; idem, fără personal permanent — 2 h; pentru consumatori dispersați 2 ... 8 h.
3	98,0	Nimic	Se stabilește de la caz la caz, în funcție de condițiile locale și structura schemei de alimentare.				

În situații justificate, consumul asigurat în caz de întrerupere simplă poate fi mai mic decît sarcina maximă de durată, iar calea de alimentare se dimensionează în consecință. Există un nivel de siguranță optim pentru alimentarea unui consumator, care se stabilește în conformitate cu criteriile expuse în [45].

e. Continuitatea alimentării cu energie electrică a consumatorilor reprezintă cea mai importantă condiție calitativă.

În funcție de natura efectelor produse de întreruperea alimentării cu energie electrică, receptoarele se încadrează în următoarele categorii:

— Categorie zero, la care întreruperea în alimentarea cu energie electrică poate duce la explozii, incendii, distrugerii grave de utilaje sau pierderi de vieți omenești. Încadrarea receptoarelor în această categorie se admite în cazul în care nu se dispune de alte forme de energie, în cazul în care acestea nu sînt justificate tehnic sau sînt prohibitive economic în comparație cu acționarea electrică, precum și în situațiile în care măsurile de prevenire de natură tehnologică nu sînt eficiente.

Se încadrează în categorie zero instalații și echipamente ca: iluminatul de siguranță, instalațiile de ventilație și evacuarea a gazelor nocive sau a amestecurilor explozive, pompele de răcire ale turnurilor și captoarelor de Țelării, calculatoarele de proces ș.a.

— Categoria I, la care întreruperea alimentării duce la dereglarea proceselor tehnologice în flux continuu, necesitând perioade lungi pentru reluarea activității la parametrii cantitativi și calitativi existenți în momentul întreruperii, la rebuturi importante de materii prime, materiale auxiliare, scule, semifabricate ș.a., la pierderi materiale importante prin nerealizarea producției planificate și imposibilitatea recuperării acesteia, la repercusiuni asupra altor unități importante sau la dezorganizarea vieții sociale în centrele urbane.

Receptoare de categoria I sînt incluse în instalații tehnologice organizate pentru producția în serie mare, în flux continuu, în instalații de ventilație, de cazane, de transport al clincherului etc.

— Categoria a II-a, la care întreruperea alimentării determină nerealizări de producție, practic numai pe durata întreruperii, care pot fi, de regulă, recuperate. În această categorie se încadrează majoritatea receptoarelor din secțiile prelucrătoare.

— Categoria a III-a cuprinde receptoarele care nu se încadrează în categoriile precedente (ex. magazii, depozite).

La stabilirea categoriei receptoarelor se ține seama de:

- cerințele de continuitate în alimentarea receptoarelor;
- cerințele speciale în ceea ce privește calitatea tensiunii și a frecvenței;

- indicatorii valorici ai daunelor provocate de întreruperile în alimentarea cu energie electrică.

Clasificarea receptoarelor pe categorii, cu stabilirea duratei de realimentare, adică a duratei întreruperilor admisibile în alimentare, se efectuează de către proiectantul general, după consultarea furnizorilor de echipamente, a beneficiarului investiției și a proiectantului de specialitate. Indicații orientative sînt cuprinse în lucrările [1, 15, 45].

Durata de realimentare se situează deasupra unei valori minime de 3 secunde (la receptoare de categoria O sau I), corespunzînd duratei de acționare a automaticii de sistem, putînd atinge chiar cîteva ore (la receptoare din categoriile II și III), fără a depăși însă 24 ore.

Condițiile referitoare la putere și continuitate se corelează conform datelor din tabelul 1.2. Astfel, clasa consumatorului și categoriile receptoarelor din compunerea sa determină în primul rînd durata de realimentare și consumul asigurat, ceea ce conduce la stabilirea celorlalte caracteristici ale nivelurilor de siguranță, ca modalitățile de rezervare în căi și surse și gradul de satisfacere minim.

În caz de întrerupere dublă la consumatorii cu două căi de alimentare, realimentarea se asigură numai după timpul necesar reparării unei căi. La fel, în cazul unor defecțiuni provocate de fenomene imprevizibile, durata de realimentare este determinată de posibilitățile de reparare a instalațiilor avariate [45].

Cunoașterea structurii unui consumator pe categorii de receptoare are o importanță deosebită pentru proiectantul de instalații electrice, aceasta influențînd unele din etapele de bază ale proiectării cum sînt: stabilirea schemei de racordare și distribuție în înaltă tensiune, organizarea posturilor de transformare, alegerea schemei de distribuție în joasă tensiune etc. Categoriile de receptoare se precizează în chestionarul energetic, prin care se cere acordul prealabil și care se anexează la nota de comandă fiind semnat de beneficiar (v. tab. 2.1).

## 1.4. SARCINI ELECTRICE DE CALCUL

În cadrul instalațiilor electrice, sarcina electrică reprezintă o mărime care caracterizează consumul de energie electrică. Mărimile utilizate frecvent în acest scop sînt puterea activă  $P$ , reactivă  $Q$ , aparentă  $S$  și curentul  $I$ .

În proiectarea instalațiilor electrice la consumatori este necesar să se cunoască în primul rînd puterea activă absorbită de către:

- receptoare, pentru dimensionarea circuitelor de receptor;
- utilaje, pentru dimensionarea circuitelor de utilaj;
- grupuri de receptoare și utilaje, pentru dimensionarea tablourilor de distribuție și a coloanelor de alimentare ale acestora;
- secții ale întreprinderii și apoi de întreaga întreprindere, pentru dimensionarea posturilor de transformare, a liniilor de medie și înaltă tensiune și a stațiilor de distribuție sau transformare.

Caracteristicile tehnice nominale ale receptoarelor sînt următoarele:

- puterea activă  $P_n$  sau aparentă  $S_n$ ;
- tensiunea  $U_n$ ;
- conexiunea fazelor;
- curentul  $I_n$ ;
- randamentul  $\eta_n$ ;
- factorul de putere  $\cos \varphi_n$ ;
- relația dintre curentul de pornire  $I_p$  (conectare) și curentul nominal  $I_n$ , sub forma raportului  $I_p/I_n$ .

În cazul receptoarelor realizate pentru un regim de funcționare intermitent (motoare electrice), se specifică și durata relativă de acționare nominală  $DA_n$ .

Puterea instalată  $P$  a unui receptor reprezintă puterea sa nominală raportată la durata de acționare de referință  $DA = 1$ ,

$$P = P_n \sqrt{DA_n} \quad (1.7)$$

în care  $DA_n$  este o mărime relativă subunitară care poate lua una din următoarele valori  $DA_n = 0,15; 0,25; 0,4; 0,6$  și  $1$ . Prin urmare, puterea instalată  $P$  a unui receptor este mai mică, cel mult egală cu puterea nominală  $P_n$  a acestuia.

În cazul receptoarelor caracterizate prin puterea aparentă nominală  $S_n$ , puterea instalată este dată de relația

$$P_i = S_n \cos \varphi_n \sqrt{DA_n} \quad (1.8)$$

Pentru un grup de  $n$  receptoare, puterea instalată totală se determină ca sumă a puterilor instalate a receptoarelor componente

$$P_i = \sum_{j=1}^n P_{i,j} \quad (1.9)$$

în care puterile instalate individuale  $P_i$  rezultă din relațiile (1.7) sau (1.8).

Puterea activă absorbită, care se ia în considerare în calcul pentru grupuri cuprinzînd cel puțin patru receptoare se numește *putere cerută* sau de *calcul*. Puterea cerută  $P_c$  reprezintă o putere activă convențională, de valoare constantă, care produce în elementele instalației electrice (con-

ducte și echipamente) același efect termic ca și puterea variabilă reală, într-un interval de timp determinat (ex. 30 min), în perioada de încărcare maximă.

Determinarea prin calcul a puterilor cerute se face prin diferite metode, utilizate în funcție de stadiul proiectării și nivelul la care se efectuează calculele. Deoarece calculele trebuie efectuate la toate nivelele instalației electrice la consumator, începând de la cele inferioare (receptoare) și pînă la cele superioare (racordul de înaltă tensiune), atât pentru tensiuni joase, sub 1 000 V, cît și pentru cele mai mari de 1 000 V, sînt preferabile acele metode care se aplică acoperitor în toate situațiile.

În continuare, se indică principalele metode de determinare a puterilor cerute în faza de proiectare și anume:

— metoda coeficienților de cerere, aplicabilă la orice nivel și în special pentru grupuri mari de receptoare, reprezentînd o secție sau o întreprindere;

— metoda formulei binome, care dă rezultate acoperitoare pentru un grup restrîns de receptoare de forță avînd puteri mult diferite între ele, fiind recomandată pentru calculul puterilor cerute în special la nivelul tablourilor de distribuție;

— metoda analizei directe, aplicabilă pentru un număr mic de receptoare, la nivelul unor tablouri de distribuție cu plecări puține, inclusiv a tablourilor de utilaj, cînd se cunosc diagramele de funcționare și încărcare ale tuturor receptoarelor;

metodele bazate pe consumuri specifice cu raportare la unitatea de produs sau la unitatea de suprafață productivă, utilizabile, datorită preciziei reduse, numai în faza notei de fundamentare (v. par. 2.1.1);

— metodele bazate pe puterea medie și indicatori ai curbelor de sarcină [15], recomandate pentru determinarea puterii cerute la nivelele superioare, de la barele de joasă tensiune ale posturilor de transformare, la liniile de racord în înaltă tensiune.

La instalații existente, puterea cerută se determină pe baza curbelor de sarcină.

#### 1.4.1. METODA COEFICIENȚILOR DE CERERE

Puterea activă cerută se determină prin înmulțirea puterii instalate cu un coeficient subunitar  $k_c$ , denumit coeficient de cerere

$$P_c = k_c P_n, \quad (1.10)$$

iar puterea reactivă cerută  $Q_c$  — cu ajutorul factorului de putere cerut  $\cos \varphi_c$

$$Q_c = P_c \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_c} - 1} = P_c \operatorname{tg} \varphi_c. \quad (1.11)$$

Coeficientul de cerere  $k_c$  ține cont de randamentul  $\eta$  al receptoarelor, de gradul de încărcare al acestora — prin coeficientul de încărcare  $k_i$ , de simultaneitatea funcționării lor — prin coeficientul de simultaneitate  $k_s$  și de randamentul  $\eta_r$  al porțiunii de rețea dintre receptoare și nivelul



la care se calculează puterea cerută. Ca urmare, coeficientul de cerere este exprimat prin relația

$$k_e = \frac{k_1 k_2}{\eta \tau}. \quad (1.12)$$

Randamentul  $\eta$  al receptoarelor se ia în considerare numai la acele receptoare pentru care puterea instalată  $P_i$  sau cea nominală  $P_n$ , semnifică puteri utile, cum este cazul motoarelor electrice, la care puterea nominală reprezintă puterea mecanică la arbore.

Factorul de putere cerut  $\cos \varphi_e$  exprimă consumul de putere reactivă al receptoarelor care absorb puterea activă  $P_a$ , în condițiile reflectate global prin coeficientul de cerere.

Coeficienții de cerere și factorii de putere ceruți sînt determinați experimental pe baze statistice, pentru diferite receptoare. Toate receptoarele cărora le corespund aceleași valori pentru perechea de mărimi ( $k_e$ ,  $\cos \varphi_e$ ), se încadrează într-o singură grupare, numită categorie de receptoare. Datorită diversității mari a receptoarelor și a condițiilor lor de lucru, există un mare număr de categorii de receptoare. Acestea sînt indicate în tabelul 1.3, împreună cu valorile corespunzătoare ale coeficientului de cerere și ale factorului de putere cerut.

Pentru explicitarea modului de aplicare a metodei coeficienților de cerere, se consideră un consumator de calcul, adică un ansamblu de  $n$  receptoare, încadrate în  $m$  categorii; consumatorul de calcul poate fi reprezentat de totalitatea receptoarelor, care aparțin unui tablou de distribuție, unei secții sau unei întreprinderi. O categorie  $k$  cuprinde  $n_k$  receptoare, astfel încît puterea instalată a acestora  $P_{ik}$  este conform relației (1.9)

$$P_{ik} = \sum_{j=1}^{n_k} P_{ij}, \quad (1.13)$$

iar puterea instalată totală este

$$P_i = \sum_{k=1}^m P_{ik} = \sum_{j=1}^n P_{ij}. \quad (1.14)$$

Puterea cerută de receptoarele care fac parte dintr-o aceeași categorie  $k$ , este dată de relația

$$P_{ek} = k'_{ek} P_{ik}, \quad (1.15)$$

în care  $k'_{ek}$  este coeficientul de cerere corectat al categoriei respective de receptoare.

Corecția ține seama de numărul total de receptoare

$$n = \sum_{k=1}^m n_k \quad (1.16)$$

și se realizează prin intermediul coeficientului  $k_e$  de influență a numărului de receptoare, conform relației

$$k'_{ek} = k_{ek} \div \left( 1 - \frac{k_{ek}}{k_e} \right), \quad (1.17)$$

Tabelul 1.3

Coeficientul de cerere  $k_c$  și factorul de putere  $\cos \varphi_c$  pentru diferite categorii de receptoare [8, 15]

Categoria receptoarelor	$k_c$	$\cos \varphi_c$	$\lg \varphi_c$
<b>a) Receptoare electromecanice</b>			
Aeroterme	0,7	0,8	0,75
Compresoare	0,8	0,8	0,75
— acționate cu motor asincron	0,75	0,8	0,75
— acționate cu motor sincron	0,75	1,0	0,00
Grupuri motor-generator	0,65	0,8	0,75
Macarale			
— cu $DA = 25\%$	0,1	0,5; 0,65	1,73; 1,17
— cu $DA = 40\%$	0,15 0,2	0,5; 0,65	1,73; 1,17
Mașini unelte de prelucrat prin așchiere			
— cu regim normal de funcționare (strunguri, raboteze, mașini de frezat, mortezat, găurit, polizoare etc.)	0,12 0,14	0,5	1,73
— cu regim greu de lucru (strunguri de degroșat, automate, revolver, de alezaj, mașini unelte mari; prese de ștanțat și cu excentric etc.)	0,2—0,25	0,6—0,65	1,33—1,17
— cu regim foarte greu de lucru (acționare ciocane, mașini de forjat, de trefilat, acționarea tobelor de decupare, a tamburelor de curățire etc.).	0,3—0,4	0,65	1,17
Pompe			
— cu diafragmă, de filtrare, de ulei, verticale	0,7	0,8	0,75
— de alimentare	1	0,9	0,48
— de apă	0,7—0,8	0,8 0,85	0,75—0,62
— de vid	0,7	0,78	0,8
Unelte electrice portabile	0,1	0,45	1,99
Ventilatoare	0,65—0,75	0,8	0,75
<b>b) Receptoare electrotermice</b>			
Agregate motor generator de sudare			
— pentru un singur post	0,3—0,35	0,5—0,6	1,73—1,33
— pentru mai multe posturi	0,6—0,7	0,6 0,7	1,33—1,02
Convertizoare de frecvență	0,4 0,6	0,7—0,6	1,00—1,33
Cuptoare de inducție de frecvență joasă			
— fără compensarea energiei reactive	0,75 0,8	0,35	2,67
— cu compensarea energiei reactive	0,72	0,95	0,32
Cuptoare cu rezistoare			
— cu încălzire continuă	0,8—0,85	0,95—1,0	0,33—0,00
— cu încălzire periodică	0,6	0,95—1,0	0,33—0,00
<b>c) Receptoare electrochimice</b>			
Redresoare			
— pentru instalații de acoperiri metalice	0,5	0,7	1,00
— pentru încărcat acumulatori de electro-lize	0,6	0,7	1,00
<b>d) Receptoare de iluminat și prize</b>			
De uzite	0,7	— fluorescent compensat	
Hale industriale		0,90	0,48
— cu ateliere și încăperi separate	0,85		
— cu mai multe deschideri, fără separații	0,95	— fluorescent necompensat	
		0,55	1,51
Iluminat de siguranță	1,0		
Iluminat exterior	0,9	— incandescent	
Magazi, posturi de transformare	0,6	1,00	0,00

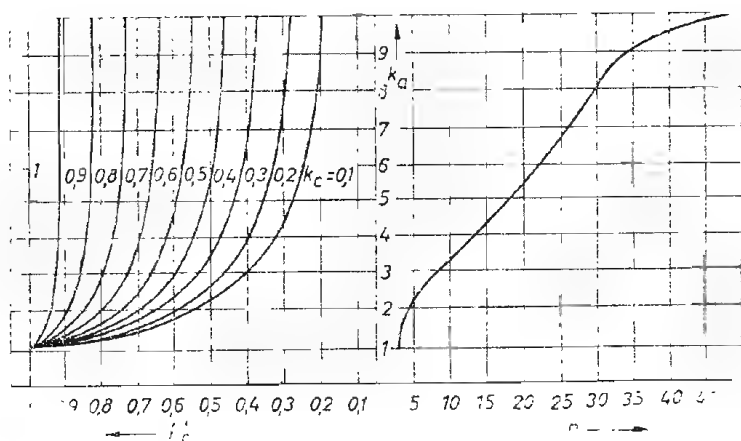


Fig. 1.2. Nomogramă pentru determinarea coeficienților de influență  $k_a$  și de cerere corectat  $k'_c$ .

în care  $k_{c0}$  este coeficientul de cerere pentru categoria de receptoare considerată, determinat din tabelul 1.3.

Nomograma din figura 1.2 indică, în partea dreaptă, dependența coeficientului de influență  $k_a$  de numărul de receptoare  $n$  ale consumatorului de calcul; în partea stângă a nomogramei rezultă coeficientul de cerere corectat  $k'_c$ , pe baza coeficienților  $k_c$  și  $k_a$  determinați.

De remarcat că, determinarea coeficientului  $k_a$  de influență a numărului de receptoare este corect să se facă în raport cu numărul total  $n$  de receptoare al consumatorului de calcul considerat, fiind același pentru toate categoriile de receptoare din compunerea acestuia. Acest lucru este firesc avînd în vedere că ansamblul receptoarelor, indiferent de categoriile cărora le aparțin, determină în mod statistic consumul de energie electrică, datorită nesimultaneităților în funcționare și în gradele de încărcare.

Pe această bază, dintre doi consumatori de calcul cu aceleași puteri instalate totale și cu repartiții identice ale puterilor instalate pe categorii de receptoare, cel care cuprinde un număr mai mare de receptoare (cu puteri instalate mai mici) va absorbi o putere mai mică.

Orice modificare ale numărului de receptoare a consumatorului de calcul atrage după sine necesitatea actualizării valorii coeficientului de influență  $k_a$  și a determinării coeficienților de cerere corecți  $k'_c$  cu relația (1.17).

În cazul în care receptoarele au puteri mult diferite, se recomandă ca determinarea coeficientului de influență să se facă în raport cu numărul de receptoare

$$n' = 2 \cdot n_{0.5}, \quad (1.18)$$

în care s-a notat cu  $n_{0.5}$  — numărul receptoarelor celor mai mari, a căror putere instalată însumată este egală cu jumătate din puterea tuturor receptoarelor.

Cazurile limită ale corecției sînt următoarele:

a.  $n \leq 4$ , cînd  $k_a = 1$  și prin urmare  $k'_c = 1$ , adică pentru un număr de receptoare mai mic decît patru, puterea cerută este egală cu suma puterilor

lor instalate ale receptoarelor. Un astfel de consumator de calcul se poate întâlni la nivelul tablourilor de utilaj sau al celor de distribuție care alimentează cel mult trei receptoare.

b.  $n \gg 50$ ,  $k_a \gg 10$  și conform relației (1.11) se obține  $k'_c \approx k_c$ , ceea ce înseamnă că pentru un consumator de calcul cu un număr foarte mare de receptoare, corecția coeficientului de cerere este nulă, astfel încît relația (1.9) devine:

$$P_{ck} = k_{ck} P_{cl}. \quad (1.19)$$

Astfel de situații se întâlnesc la nivelul tablourilor generale din posturile de transformare sau al tablourilor de distribuție care alimentează un număr relativ mare de receptoare.

Avînd determinate puterile cerute de receptoarele din fiecare categorie, puterea cerută totală la nivelul consumatorului de calcul este

$$P_c = \sum_{k=1}^m P_{ck}. \quad (1.20)$$

Dacă într-o secție alimentarea receptoarelor și utilajelor s-a organizat pe cîteva ( $q$ ) tablouri de distribuție și s-au calculat conform celor de mai sus puterile cerute la nivelurile secției  $P_{cl}$  și a tablourilor  $P_{cl}$ , este evident că

$$P_{cl} < \sum_{l=1}^q P_{cl},$$

avînd în vedere că puterile cerute ale acestor consumatori de calcul au fost calculate pentru coeficienți de influență  $k_a$  diferiți. Asemenea inegalități au loc între orice trepte consecutive pe care se organizează un consumator dat.

Calculul puterilor reactive cerute se face, de asemenea, pentru fiecare categorie în parte

$$Q_{ck} = P_{ck} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ck}, \quad (1.21)$$

puterea reactivă totală rezultînd

$$Q_c = \sum_{k=1}^m Q_{ck}. \quad (1.22)$$

Puterea aparentă totală absorbită de consumatorul de calcul este

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}. \quad (1.23)$$

Dacă rezultatul obținut se încadrează între valorile

$$400 \text{ kVA} \leq S_c < 1600 \text{ kVA}, \quad (1.24)$$

la componentele activă și reactivă se aplică reduceri prin intermediul coeficienților de reducere  $k_{ra}$ , pentru puterea activă și  $k_{rr}$  — pentru puterea reactivă, conform relațiilor

$$\begin{aligned} P'_c &= k_{ra} P_c; \\ Q'_c &= k_{rr} Q_c. \end{aligned} \quad (1.25)$$

în care  $k_{rc} = 0,9$ , iar  $k_{rr} = 0,95$ . Reducerea nu se aplică dacă  $S_c < 400$  kVA.

În cazul în care consumatorul de calcul este o secție sau întreaga întreprindere, puterea aparentă de calcul  $S'_c$  servește ca bază pentru alegerea transformatorului de alimentare

$$S_{nT} \geq S'_c = \sqrt{P_c'^2 + Q_c'^2}, \quad (1.26)$$

în care  $S_{nT}$  reprezintă puterea aparentă nominală a transformatorului.

Dacă sarcina nu poate fi preluată de un singur transformator ( $S'_c > 1\,600$  kVA), se grupează receptoarele pe două sau mai multe transformatoare de puteri corespunzătoare, urmînd ca la puterile cerute ale fiecărui grup de receptoare să se aplice coeficienții de reducere menționați. Este indicat ca gruparea receptoarelor să se facă după criterii de amplasament și tehnologice.

Pentru determinarea puterilor cerute  $P_{ct}$  și  $Q_{ct}$  din rețeaua de medie tensiune, la totalul obținut după aplicarea reducerilor se adaugă pierderile active  $\Delta P_T$ , respectiv reactive  $\Delta Q_T$  din transformatoare (paragraful 3.6.3), conform relațiilor

$$P_{ct} = P'_c + \Delta P_T; \quad (1.27)$$

$$Q_{ct} = Q'_c + \Delta Q_T - Q_{cc}, \quad (1.28)$$

în care  $Q_{cc}$  reprezintă puterea surselor instalate pentru compensarea puterii reactive (v. subcap. 6.4).

În lipsa unor date de catalog, pierderile de putere din transformatoare se pot calcula cu relațiile

$$\Delta P_T \approx \frac{2}{100} S_T; \quad (1.29)$$

$$\Delta Q_T \approx \frac{10}{100} S_T,$$

în care ca  $S_T$  s-a notat suma puterilor nominale ale transformatoarelor.

În cazul consumatorilor de calcul alimentați prin  $n_T$  transformatoare, se recomandă ca valorilor determinate cu relațiile (1.27) și (1.28), să li se aplice coeficienții de simultaneitate  $k_{sc}$  — pentru puterea activă și  $k_{sr}$  — pentru puterea reactivă, rezultînd puterile cerute pe partea de medie tensiune

$$\begin{aligned} P'_{ct} &= k_{sc} P_{ct}; \\ Q'_{ct} &= k_{sr} Q_{ct}. \end{aligned} \quad (1.30)$$

Coeficienții de simultaneitate sînt dați în tabelul 1.4, în funcție de numărul de transformatoare. Valorile mai mari ale coeficienților se aplică

Tabelul 1.4

Coeficienții de simultaneitate pentru consumatori alimentați prin mai multe transformatoare

Coeficientul de simultaneitate	Numărul transformatoarelor, $n_T$	
	$n_T = 2; 3$	$n_T = 4$
pentru puterea activă, $k_{sc}$	0,8...0,9	0,7...0,85
pentru puterea reactivă, $k_{sr}$	0,9...0,95	0,85...0,9

în industriile (metalurgică, chimică) cu receptoare funcționând în mare parte în sarcină continuă.

Coefficientul mediu de cerere al consumatorului este

$$k_e = \frac{P'_{cl}}{P_e} \quad (1.31)$$

Puterea aparentă cerută totală

$$S'_{cl} = \sqrt{P'^2_{cl} + Q'^2_{cl}} \quad (1.32)$$

permite determinarea factorului de putere mediu

$$\cos \varphi = \frac{P'_{cl}}{S'_{cl}}, \quad (1.33)$$

care în situația că puterea reactivă totală  $Q'_{cl}$ , a fost calculată fără a se ține cont de reducerea datorată puterii reactive a surselor de compensare, se numește *factor de putere natural*.

## 1.4.2. METODA FORMULEI BINOME

Se utilizează pentru consumatori de calcul la nivelul unor tablouri de distribuție, conducând la rezultate acoperitoare în ceea ce privește puterea cerută.

Conform acestei metode, receptoarele se consideră repartizate pe grupe de receptoare, puterea cerută determinându-se la nivelul grupelor pe baza puterii instalate  $P_{ix}$  a tuturor receptoarelor din grupa  $k$  și a puterii instalate  $P_{ix}$  a primelor  $x$  receptoare din aceeași grupă, luate în ordinea descrescătoare a puterilor lor instalate.

Puterea activă cerută de cele  $n_k$  receptoare din grupa  $k$  este

$$P_{ix} = (aP_{ix})_k + b_k P_{ix}, \quad (1.34)$$

în care  $a$  și  $b$  sînt coeficienții formulei binome, iar  $x$  numărul de receptoare pentru care se calculează  $P_{ix}$ ; aceste date sînt specifice metodei de calcul după formula binomă, fiind indicate în tabelul 1.5.

Puterea cerută de cele  $m$  grupe de receptoare ale consumatorului de calcul este

$$P_e = (aP_{ix})_M + \sum_{k=1}^m b_k P_{ix}, \quad (1.35)$$

în care  $(aP_{ix})_M$  este termenul cu valoarea cea mai mare dintre termenii  $(aP_{ix})_k$ ;

$\sum_{k=1}^m b_k P_{ix}$  — suma tuturor termenilor de forma  $b_k P_{ix}$ , corespunzător celor  $m$  grupe de receptoare.

Puterea reactivă absorbită la nivelul consumatorului de calcul este

$$Q_e = \sum_{k=1}^m P_{ix} \operatorname{tg} \varphi_k, \quad (1.36)$$



Coeficienții formulei binome

Grupul de receptoare	Nr. <i>z</i>	Coeficienții		$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
		<i>a</i>	<i>b</i>		
7. Motoare electrice pentru comanda individuală a mașinilor-unelte de prelucrare a metalelor .					
— în secții de prelucrare la cald, în serii mari și pe bandă . . . . .	5	0,5	0,26	0,65	1,17
— în secții de prelucrare la rece, în serii mari și pe bandă . . . . .	5	0,5	0,14	0,5	1,73
— idem, în serii mici și individuale . . . . .	5	0,4	0,14	0,5	1,73
2. Motoare electrice pentru ventilatoare (condiționare), pompe, compresoare, grupuri compresoare . . . . .	5	0,25	0,65	0,8	0,75
(pentru puteri peste 100 kW se va lua puterea cerută reală la cos $\varphi$ real pentru fiecare motor în parte).					
3. Motoare electrice ale mecanismelor de transport continuu și de prelucrare a nisipurilor și pământurilor în turnătorii:					
— fără interblocări . . . . .	5	0,4	0,4	0,75	0,88
— cu interblocări . . . . .	5	0,2	0,6	0,75	0,88
4. Poduri rulante și macarale:					
— în cazangerii, secții de reparații și de montaj, în ateliere mecanice și altele asemănătoare . . . . .	3	0,2	0,06	0,5	1,73
— în turnătorii . . . . .	3	0,3	0,09	0,5	1,73
— în oțelării Siemens-Martin . . . . .	3	0,3	0,11	0,5	1,73
— la laminare, mașini de trelerat și recoltat . . . . .	3	0,3	0,18	0,5	1,73
5. Ateliere termice:					
— cuptoare electrice cu rezistență cu încărcare automată (continuă) . . . . .	2	0,3	0,7	0,95	0,33
— idem, cu încărcare neautomată (periodică) . . . . .	1	0,5	0,5	0,95	0,33
— receptoare termice mici, în instalații de tip laborator (uscătoare, încălzitoare etc.) . . . . .	0	0	0,7	1	0
6. Mașini de sudare:					
— prin puncte și prin cusătură . . . . .	0	0	0,35	0,6	1,33
— cap la cap . . . . .	0	0	0,35	0,7	1,02
7. Transformatoare de sudare:					
— pentru sudare automată . . . . .	0	0	0,5	0,5	1,73
— pentru sudare manuală cu arc cu un singur punct de lucru . . . . .	0	0	0,35	0,4	2,30
— idem, cu mai multe puncte de lucru . . . . .	0	0	0,7— 0,9	0,5	1,73
8. Grupuri convertizoare de sudare (motor-generator):					
— cu un singur punct de lucru . . . . .	0	0	0,35	0,5	1,73
— cu mai multe puncte de lucru . . . . .	0	0	0,6— 0,9	0,75	0,88
9. Acționări electrice în industria chimică cu flux tehnologic neîntrerupt (compresor, pompe, ventilatoare, amestecătoare și centrifuge) . . . . .	3	0,5	0,5	0,86	0,61

**Observații.** 1. Pentru podurile rulante se pot aplica metode mai exacte de determinare a puterii cerute dacă se dispune de curbele de încărcare ale fiecărui motor electric;

2. Puterea  $P_n$  a grupurilor de receptoare pentru sudare se determină înmulțindu-se puterea nominală  $S_n$  în kVA, cu factorul de putere nominal, pentru care se pot adopta valorile:

- transformatoare de sudare . . . . . 0,5;
- mașini de sudare prin puncte și prin cusătură . . . . . 0,7;
- mașini de sudare cap la cap . . . . . 0,8.

în care  $\operatorname{tg} \varphi_p$  reprezintă tangenta corespunzătoare factorului de putere introdus de receptoarele din grupa  $k$ , mărime de asemenea indicată în tabelul 1.5.

Puterea aparentă cerută și valoarea medie a factorului de putere se calculează cu relațiile (1.23), respectiv (1.33).

### 1.4.3. METODA ANALIZEI DIRECTE

Această metodă este recomandată pentru calculul puterii cerute de consumatori de calcul cu un număr redus de receptoare, de căror diagrame de sarcină sînt cunoscute. Astfel de consumatori sînt:

- tablourile de utilaj;
- tablourile de distribuție cu plecări puține;
- tablourile generale cu un număr redus de plecări la subconsumatori mici sau neindustriali, cu puteri mici, cînd se cunosc caracteristicile de funcționare ale acestora și cînd puterea instalată pentru iluminat reprezintă mai mult de 60 ... 75% din întreaga putere instalată.

Metoda constă în determinarea directă a coeficientului de cerere, conform relației (1.12), deoarece în astfel de situații, valorile factorilor care intervin pot fi calculate sau apreciate cu o bună aproximație.

Coeficientul de încărcare  $k_i$  este dat de relația

$$k_i = \frac{P_r}{P_s} \quad (1.37)$$

în care  $P_r$  este puterea reală cu care sînt încărcate receptoarele, iar  $P_s$  — puterea în funcție simultană; în mod obișnuit  $k_i = 0,9 \dots 0,95$ .

Coeficientul de simultaneitate este

$$k_s = \frac{P_s}{P_i} \quad (1.38)$$

în care  $P_i$  are semnificația de mai sus, iar  $P_s$  este puterea instalată. Pentru consumatori de calcul cuprinzînd numai receptoare de iluminat, valorile coeficienților de simultaneitate sînt date în tabelul 1.6; pentru receptoare

Tabelul 1.6

Coeficientul de simultaneitate  $k_s$  pentru consumatori cuprinzînd numai receptoare de iluminat

Destinația construcției sau instalației	$k_s$
Construcții industriale și administrative	0,8
Complexe comerciale	1,0
Construcții de locuințe:	
2 ÷ 4 apartamente	1,0
5 ÷ 9 „	0,78
10 ÷ 14 „	0,63
15 ÷ 19 „	0,53
peste 20 „	0,49
Depozite	0,5
Iluminat exterior și iluminat de siguranță	1,0
Spitale	0,65

de forță, acești coeficienți se determină pe baza diagramelor de sarcină, din care rezultă  $P_e$ , și a puterii instalate  $P_i$ , conform relației (1.38).

Randamentul mediu al receptoarelor  $\eta$  se determină ca medie ponderată a randamentelor nominale  $\eta_{nj}$  ale receptoarelor, în raport cu puterile instalate. Dacă puterile instalate  $P_{ij}$  sînt puteri electrice (absorbite), relația de calcul este

$$\eta = \frac{\sum_{j=1}^n \eta_{nj} P_{ij}}{\sum_{j=1}^n P_{ij}}, \quad (1.39)$$

iar dacă acestea se referă la puteri utile (mecanice — cazul motoarelor electrice), se utilizează relația

$$\eta = \frac{\sum_{j=1}^n P_{uj}}{\sum_{j=1}^n \frac{P_{ij}}{\eta_{nj}}}, \quad (1.40)$$

în care  $n$  este numărul de receptoare.

Randamentul rețelei  $\eta_r$  se calculează ținînd seama de pierderile de putere; în mod obișnuit  $\eta_r = 0,98 \dots 1$ .

Avînd determinați toți factorii, se calculează coeficientul de cerere cu relația (1.12). Puterea activă cerută se obține, în acest caz, din puterea instalată cu ajutorul coeficientului de cerere

$$P_c = k_e P_i. \quad (1.41)$$

Pentru calculul puterii reactive cerute, este necesară determinarea factorului de putere mediu  $\cos \varphi_m$  al receptoarelor, din condiția de egalitate a puterii aparente absorbite de cele  $n$  receptoare cu puterea aparentă a unui receptor echivalent. Aceasta conduce la relația

$$\cos \varphi_m = \frac{\sum_{j=1}^n P_{ij}}{\sum_{j=1}^n \frac{P_{ij}}{\cos \varphi_{nj}}}, \quad (1.42)$$

dacă  $P_{ij}$  reprezintă putere electrică absorbită sau

$$\cos \varphi_m = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{P_{uj}}{\eta_{nj}}}{\sum_{j=1}^n \frac{P_{ij}}{\eta_{nj} \cos \varphi_{nj}}}, \quad (1.43)$$

dacă  $P_{ij}$  reprezintă putere utilă.

Puterea reactivă cerută este

$$Q_c = P_c \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi_m} - 1}, \quad (1.44)$$

iar puterea aparentă

$$S_c = \frac{P_c}{\cos \varphi_m}. \quad (1.45)$$

#### 1.4.4. METODA DURATEI DE UTILIZARE A PUTERII MAXIME

Se folosește pentru determinarea puterii cerute la nivel de întreprindere sau platformă industrială, atunci cînd se cunoaște consumul specific de energie electrică  $W_0$  pe unitatea de producție. Din această cauză, metoda se mai numește și a *consumurilor specifice*.

Dacă se notează cu  $A$  producția anuală a întreprinderii, în unități de măsură corespunzătoare (tone, metri pătrați, bucăți etc.), consumul anual de energie pentru acest consumator de calcul este

$$E_0 = W_0 \cdot A. \quad (1.46)$$

În lipsa unor date certe, referitoare la consumul specific de energie electrică pentru produse și activități industriale, se recomandă consultarea lucrării [15].

Tabelul 1.7

Durata de utilizare  $t_{PM}$  a puterii active maxime

Numele consumatorului	$t_{PM}^{[h]}$	
	lucrul în două schimburi	lucrul în trei schimburi
Combinat de carne	—	3 500 ÷ 3 800
Combinat mari de carne, fabrici de conservat carnea, întreprinderi de preparare a cărnii	—	5 600 ÷ 5 800
Combinat mari de păsări	—	3 000 ÷ 3 100
Construcții de mașini	2 500	4 000 ÷ 4 400
Fabrici de cleiuri	—	6 200 ÷ 6 300
Fabrici de gelatină	—	5 300 ÷ 5 500
Fabrici de încălțăminte	3 000 ÷ 3 500	5 000
Fabrici de preparare a păsărilor	—	6 400 ÷ 6 500
Industria alimentară	2 500	4 000 ÷ 5 000
Industria chimică	—	5 800 ÷ 6 500
Industria electrotehnică	—	5 000
Industria hîrtiei și celulozei	—	5 500
Industria minieră	—	5 000 ÷ 5 500
Industria textilă	4 000	4 500
Întreprinderi frigorifice	—	4 000
Întreprinderi de lapte dietetic	—	4 800 ÷ 5 000
Întreprinderi mari de produse lactate	—	7 200 ÷ 7 500
Metalmurgie	—	6 500
Poligrafie	3 000	—
Prelucrarea lemnului	2 200 ÷ 2 500	4 600
Reparația automobilelor și vagoanelor	3 400	—
Uzine de reparații	2 500	4 500

Observații. 1. Pentru întreprinderi lucrînd într-un singur schimb se consideră  $t_{PM} = 2 500 \div 3 000$ ;

2. pentru iluminatul interior  $t_{PM} = 1 500 \div 2 500$ , iar pentru cel exterior  $t_{PM} = 2 500 \div 3 000$ .

Puterea cerută  $P_c$  se determină cu relația

$$P_c = \frac{E_c}{t_{pr}}, \quad (1.47)$$

în care  $t_{pr}$  reprezintă durata (timpul) de utilizare a puterii maxime cerute, avînd valori dependente de specificul consumatorului, conform tabelului 1.7.

Fiind o metodă specifică notei de fundamentare tehnico-economică, nu se prevede calculul puterilor reactive și aparente cerute.

## 1.5. CURBE DE SARCINĂ

### 1.5.1. DEFINIȚIE. CLASIFICĂRI

Datorită imposibilității de a se stoca energia electrică, satisfacerea necesarului de energie la consumatori impune cunoașterea nu numai a puterilor cerute, ci și a modului de variație a consumului, sub forma curbelor de sarcină.

Curbele de sarcină prezintă variația în timp a sarcinilor electrice, pe o perioadă determinată.

La consumatori, ca și la celelalte părți componente ale sistemului energetic (centrale, rețele), se deosebesc diferite curbe de sarcină, după felul sarcinii, durata  $t_c$  a ciclului la care se referă și proveniență.

După felul sarcinii, se evidențiază curbe de sarcini *active* și curbe de sarcini *reactive*, acestea fiind practic cel mai des întrebuițate. Se trasează curbe de sarcină și pentru puterea aparentă, ca și pentru curent.

După durata  $t_c$  a ciclului, pentru care redau variațiile sarcinii, curbele de sarcină pot fi:

- *zilnice*, la care durata ciclului este de 24 h și dintre care două sînt mai importante, cea caracteristică pentru *vară* (în intervalul 18 ... 25 iunie) și cea pentru *iarnă* (18 ... 25 decembrie);

- *anuale*, la care durata ciclului este de 8 760 h (12 luni sau 365 zile).

După proveniență se deosebesc următoarele curbe de sarcină:

- *experimentale*, obținute prin citirea aparatelor indicatoare la intervale egale de timp (din 10 în 10 minute sau din 30 în 30 minute) sau trasate de către aparatele înregistratoare;

- *tip*, care sînt obținute prin generalizarea curbelor experimentale, specifice unor ramuri sau subramuri industriale. Aceste curbe prezintă o importanță deosebită pentru proiectare.

Sarcinile electrice pot fi reprezentate pe curbele de sarcină fie în valori absolute, fie în valori raportate la valoarea maximă.

În figura 1.3 se prezintă curbele zilnice (iarna) de sarcină activă și reactivă, în valori raportate, pentru un consumator din ramura construcțiilor de mașini, la care lucrul este organizat în două schimburi. Numărul de schimburi influențează într-o măsură hotărîtoare alura curbei de sarcină zilnică. Aceasta se poate observa din figura 1.4, în care sînt prezentate



Fig. 1.3. Curbele zilnice de sarcină activă și reactivă (iarna) pentru o întreprindere constructoare de mașini lucrând în două schimburi.

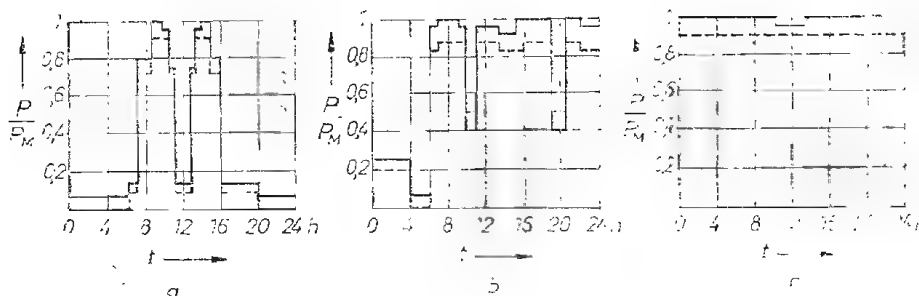


Fig. 1.4. Curbele zilnice de sarcină activă iarna (linie continuă) și vara (linie întreruptă) pentru un consumator la care lucrul este organizat:  
a - într-un schimb; b - în două schimburi; c - în trei schimburi.

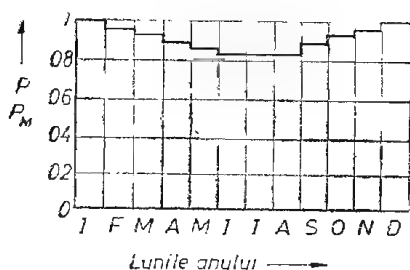


Fig. 1.5. Curba de sarcină activă anuală a unei întreprinderi.

curbele de sarcină activă zilnică, în valori raportate, în trei situații — după numărul de schimburi (unul, două sau trei) în care este organizat lucrul.

La curba de sarcină anuală, reprezentată în figura 1.5 pentru puterea activă, sarcina corespunzătoare unei luni se obține prin efectuarea mediei aritmetice a sarcinilor maxime zilnice pe interval de o lună.

## 1.5.2. INDICATORII CURBELOR DE SARCINĂ

Consumul de energie electrică conform curbelor de sarcină poate fi caracterizat printr-o serie de mărimi — puteri, durate, coeficienți adimensionali — numite indicatori ai curbelor de sarcină. Definirea acestor indica-

tori se face, în cele ce urmează, în legătură cu o curbă de sarcină oarecare, prezentată în figura 1.6, în care notațiile s-au făcut numai pentru puteri active; indicatorii referitori la puterile reactive se vor defini în mod similar. Se consideră că această curbă de sarcină se referă la un consumator având puterea instalată  $P_i$ .

Pe parcursul ciclului, având durata  $t_c$ , se înregistrează un consum maxim  $P_M$  cu o durată mai mare de 15 min; dacă  $t_c = 24$  h și curba este trasată pentru anotimpul rece (iarna), deci este vorba de curba de sarcină zilnică — iarna, atunci  $P_M$  reprezintă consumul maxim posibil, adică tocmai puterea cerută

$$P_M = P_c. \quad (1.48)$$

Prin planimetrarea curbelor de sarcină se obține consumul de energie activă

$$E_a = \int_0^{t_c} P dt = \sum_j P_j \Delta t_j, \quad (1.49)$$

respectiv reactivă

$$E_r = \int_0^{t_c} Q dt = \sum_j Q_j \Delta t_j, \quad (1.50)$$

în care  $j$  este indicele de însumare pentru energiile corespunzătoare diferitelor segmente orizontale din curba de sarcină, având ordonatele  $P_j$ , respectiv  $Q_j$  și lungimile (duratele) —  $\Delta t_j$ . Aceste calcule se fac, în general, numai pentru curba de sarcină anuală.

a. *Puterea medie* este indicatorul cu semnificația unei puteri constante în timp, care ar determina un consum de energie echivalent cu cel real. Puterea activă medie este

$$P_{med} = \frac{E_a}{t_c}, \quad (1.51)$$

iar cea reactivă medie

$$Q_{med} = \frac{E_r}{t_c}. \quad (1.52)$$

Între valorile caracteristice ale puterii active — instalată, maximă și medie — există relațiile de inegalitate

$$P_{med} < P_M < P_i. \quad (1.53)$$

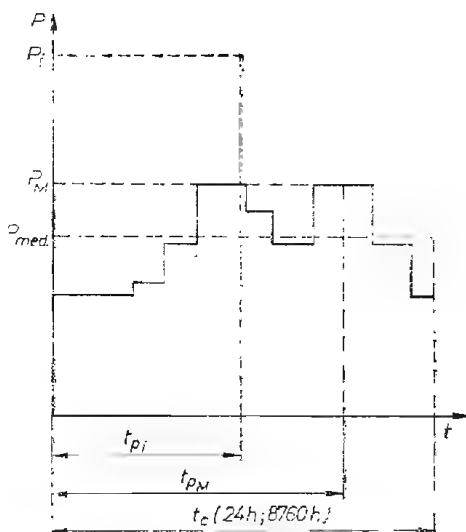


Fig. 1.6. Explicativă la indicatorii curbelor de sarcină.

b. *Duratele de utilizare* indică în cât timp s-ar produce întreg consumul de energie, dacă s-ar funcționa constant la una din puterile caracteristice. Acestea sînt :

— duratele de utilizare ale puterilor maxime absorbite, corespunzătoare unui consum constant, la puterile maxime, avînd expresiile

$$t_{EM} = \frac{E_a}{P_M}, \quad (1.54)$$

pentru puterea activă și

$$t_{QM} = \frac{E_r}{Q_M}, \quad (1.55)$$

pentru puterea reactivă. Valori caracteristice pentru durata de utilizare a puterii active maxime, în decurs de un an, sînt indicate în tabelul 1.7;

Tabelul 1.8

Duratele  $t_p$  și coeficienții  $K_{P_i}$  de utilizare a puterii active instalate

Sectorul de producție sau activitate	$t_{Pi}$ [h]	$K_{Pi}$	Sectorul de producție sau activitate	$t_{Pi}$ [h]	$K_{Pi}$
Bere	1 750 ÷ 2 000	0,20 ÷ 0,23	Industrializarea cărni	2 200 ÷ 3 100	0,25 ÷ 0,35
Celuloză și hîrtie	2 500 ÷ 3 200	0,31 ÷ 0,36	Industrializarea peștelui	2 200 ÷ 3 100	0,25 ÷ 0,35
Ceramică	1 750 ÷ 2 600	0,20 ÷ 0,30	Mase plastice	2 200 ÷ 3 100	0,25 ÷ 0,35
Cherestea	2 600 ÷ 3 500	0,30 ÷ 0,40	Materiale refractare	2 600 ÷ 3 100	0,30 ÷ 0,35
Ciment	4 800 ÷ 5 700	0,55 ÷ 0,65	Metalurgia feroasă	1 750 ÷ 2 200	0,20 ÷ 0,25
Confecție	1 750 ÷ 2 200	0,20 ÷ 0,25	Metalurgia neferoasă	1 750 ÷ 2 200	0,20 ÷ 0,25
Construcții de mașini grele	1 750 ÷ 2 100	0,20 ÷ 0,24	Prefabricate de beton	1 750 ÷ 2 200	0,20 ÷ 0,30
Construcții și produse meta- lice	1 300 ÷ 1 750	0,15 ÷ 0,20	Prepararea cărănelor	3 300 ÷ 3 700	0,38 ÷ 0,42
Diverse mate- riale de con- strucții	2 200 ÷ 3 100	0,25 ÷ 0,35	Prepararea coșului	3 200 ÷ 3 500	0,36 ÷ 0,40
Extracția cărbunelui	2 600 ÷ 3 300	0,30 ÷ 0,38	Poligrafie	1 750 ÷ 3 100	0,20 ÷ 0,35
Extracția uleiului	2 700 ÷ 3 100	0,29 ÷ 0,35	Porțelan, faianță	1 750 ÷ 2 600	0,20 ÷ 0,30
Extragerea și prepararea mi- nerurilor ne- feroase	3 300 ÷ 4 200	0,38 ÷ 0,48	Rafinarea uleiului	2 900 ÷ 3 300	0,33 ÷ 0,38
Fabrică de mobilă	1 200 ÷ 2 600	0,14 ÷ 0,30	Reparații de mașini și utilaje	1 000 ÷ 1 300	0,12 ÷ 0,15
Industria laptelui	2 200 ÷ 2 800	0,25 ÷ 0,32	Spirt, drojdie	3 100 ÷ 4 400	0,35 ÷ 0,50
			Textile	2 450 ÷ 4 000	0,28 ÷ 0,45
			Transportul gazului metan	1 600	0,18
			Ulei comestibil	2 200 ÷ 2 500	0,25 ÷ 0,28



duratele de utilizare a puterilor instalate, corespunzătoare consumului constant la o putere egală cu cea instalată. Pentru puterea activă instalată se obține durata de utilizare cu relația

$$t_{i1} = \frac{E_a}{P_i}, \quad (1.56)$$

valori orientative pentru această mărime fiind prezentate în tabelul 1.8, iar pentru puterea reactivă instalată

$$t_{Q1} = \frac{E_r}{Q_i}. \quad (1.57)$$

Din definițiile de mai sus, rezultă că pentru energia activă se poate scrie relația de echivalență

$$E_a = P_{med} \cdot t_e = P_M \cdot t_{PM} = P_i \cdot t_{Pi} \quad (1.58)$$

și similar — pentru cea reactivă

$$E_r = Q_{med} \cdot t_e = Q_M \cdot t_{QM} = Q_i \cdot t_{Qi}. \quad (1.59)$$

**c. Coeficienții de utilizare** se obțin prin raportarea puterilor medii la celelalte două valori caracteristice ale puterii — maximă și instalată, după cum urmează:

— coeficienții de utilizare a puterii maxime sînt

$$K_{PM} = \frac{P_{med}}{P_M}; \quad K_{QM} = \frac{Q_{med}}{Q_M}; \quad (1.60)$$

dacă  $t_e = 24$  h, coeficientul de utilizare a puterii active maxime corespunzător curbei de sarcină zilnică, obținut conform relației (1.60), se mai numește și coeficient de umplere sau aplatisare a curbei, fiind folosit în calculele de determinare a puterilor transformatoarelor (v. par. 3.4.3). Valori caracteristice pentru acest coeficient sînt indicate în tabelul 1.9;

— coeficienții de utilizare a puterii instalate active

$$K_{Pi} = \frac{P_{med}}{P_i}, \quad (1.61)$$

cu valori precizate în tabelul 1.8 și reactive

$$K_{Qi} = \frac{Q_{med}}{Q_i}. \quad (1.62)$$

Dacă pentru un consumator de calcul, reprezentat de o secție sau întreprindere, se cunosc puterea instalată, durata de utilizare a acesteia (tab. 1.8) și durata de utilizare a puterii maxime (tab. 1.7), determinarea puterii maxime se poate face cu relația

$$P_M = \frac{t_{Pi}}{t_{PM}} P_i. \quad (1.63)$$

Avînd în vedere relația (1.48), această putere maximă reprezintă tocmai puterea cerută. Rezultatul calculului după relația (1.63) poate fi comparat cu cel obținut pe baza metodei duratei de utilizare a puterii maxime, conform relației (1.47).

Coefficientul de utilizare  $K_{PM}$  a puterii active maxime, din curba de sarcină zilnică

Felul consumatorului	$K_{PM}^*$
Combinat siderurgic	0.932
Fabrică de ciment	0.899
Fabrică de mobilă	0.689
	0.861**
Fabrică de tricotaj	0.730
	0.862**
Fabrică de zahăr	0.886
Illuminatul exterior	0.290 ÷ 0.400
Illuminatul interior	0.170 ÷ 0.290
Întreprindere chimică	0.861
Întreprindere de colectarea și prelucrarea laptelui	0.806
Întreprindere de industrializarea cărnii	0.623
Întreprindere industrială lucrînd:	
— într-un singur schimb	0.230 ÷ 0.337
— în două schimburi	0.400 ÷ 0.570
— în trei schimburi	0.570 ÷ 0.834
	0.962**
Întreprindere metalurgică prelucrătoare	0.564
	0.595**
Întreprindere minieră	0.902
	0.889**
Turnătorie	0.558

\* Conform curbelor de sarcină din lucrarea [18].

\*\* Valorile corespund după aplicarea măsurilor de reducere a puterii în orele de vîrf.

Din relațiile (1.63), (1.48) și (1.31), se deduce coeficientul mediu de cerere al consumatorului

$$k_v = \frac{t_{P_1}}{t_{PM}}, \quad (1.64)$$

egal cu raportul dintre durata de utilizare a puterii instalate și cea a puterii maxime.

În afara indicatorilor menționați, la dimensionarea puterii transformatoarelor pe baza suprasarcinilor admisibile, este necesar să se cunoască raportul  $P_{Mv}/P_{Ml}$  dintre puterea activă maximă vară  $P_{Mv}$  și cea maximă iarnă  $P_{Ml}$ . Se recomandă [15], ca determinarea acestui raport să se facă din curba de sarcină anuală, dar se ajunge la rezultate apropiate dacă se raportează valorile maxime din curbele de sarcină zilnică, trasate pentru cele două perioade caracteristice — vară și iarnă. În lipsa unor date concrete, pot fi utilizate orientativ, următoarele valori pentru raportul  $P_{Mv}/P_{Ml}$ :

— 0,75 ... 0,85, pentru întreprinderi lucrînd într-unul sau două schimburi;

— 0,85 ... 0,9, pentru întreprinderi lucrînd în trei schimburi.

## Capitolul 2

# DOCUMENTAȚIA TEHNICO-ECONOMICĂ A INSTALAȚIILOR ELECTRICE

La baza elaborării documentației tehnico-economice stau prevederile Legii Investițiilor nr. 9 din 18 decembrie 1980, privind elaborarea, avizarea și aprobarea documentațiilor tehnico-economice pentru obiective de investiții. Obiectivele de investiții se referă la construcții-instalații și inginerie tehnologică.

Elaborarea DTE a unui obiectiv implică relații între :

- beneficiarul obiectivului, unitatea care comandă lucrarea și are aprobată finanțarea acesteia (minister, centrală, întreprindere, altă unitate socialistă, consiliu popular) ;

- proiectantul obiectivului, unitatea de cercetare științifică, inginerie tehnologică și de proiectare ;

- executantul obiectivului, întreprinderea specializată în profilul respectiv sau unitatea proprie de execuție a beneficiarului ;

- furnizorii de materiale, aparate, echipamente, utilaje sau linii tehnologice, din țară sau străinătate ;

- alte organe competente — Banca de investiții, ministere, alte organe centrale, comitetele și birourile executive ale sfaturilor populare etc.

În conformitate cu prevederile Legii investițiilor, DTE, a unui obiectiv se compune din :

- nota de comandă NC ;

- proiectul de execuție PE.

În tabelul 2.1 sînt prezentate noțiunile tehnice (obiectiv compus din obiecte, care la rîndul lor se compun din părți de obiecte, respectiv ansambluri și elemente sau repere) și economice corespunzătoare, cu exemplificări referitoare la instalațiile electrice, noțiuni ce formează obiectul următoarelor paragrafe.

Simbolurile utilizate în continuare :

AM — antemăsurătoarea ;

BC — breviarul de calcul ;

BD — borderoul documentației ;

DD — documentația desenată (piese desenate) ;

DDE — detalii și devize de execuție ;

DE — desene (detalii) de execuție ;

DEc — documentația economică ;

DG — devizul general ;

DTE — documentația tehnico-economică ;

EM — extrasul de materiale ;

FT — foaia de titlu ;

GA — grafice și acorduri ;

Tablul noțiunilor tehnico-economice necesare elaborării documentației tehnico-economice

Noțiunea tehnică	Obiectiv	Obiect	Părți de obiect	
			Ansamblu Subansamblu	Element (reper)
Exemple	Întreprindere	Secție a întrepr.; stație de transf.; post de transf.; linie electrică	Linie tehnologică, circ. primare, circ. secundare, instal. auxiliare etc.	Conducte el., aparate el., constr. metalice, de beton etc.
DTE corespunzător	NC, PE	DDE		
Noțiunea economică	Deviz general	Deviz pe obiect inclusiv LUTM	Deviz pe categorii de lucrări (pe părți de obiect), AM, LUTM, EM	Articol de lucrări (normă de deviz, artic. de deviz), NL.
Clasificare și codificare		Lista claselor de obiecte din CUPS	Nomenclatoare specifice pe părți de obiect	Indicatoare de norme de deviz. Căto- loage de prețuri unitare pe artic. de deviz

**Observație.** În paranteze sînt indicate denumirile care sînt utilizate încă de proiectanți și unele normative.

- ITE — indicatori tehnico-economici ai obiectivului;
- LUTM — lista utilajelor tehnologice care necesită montaj;
- MG — memoriul general;
- MT — memoriul tehnic;
- NC — nota de comandă;
- NFTE — nota de fundamentare tehnico-economică;
- NL — normă de deviz locală;
- PE — proiectul de execuție;
- POS — proiectul de organizare a șantierului.

Fiecare fază a DTE conține piese scrise și piese desenate.

Piesele scrise vor fi redactate în conformitate cu STAS 6857/2 77 „Condiții generale pentru documente scrise”, care cuprinde și foaia de titlu FT, prima pagină a fiecărui document. Borderoul documentației BD, cuprinzînd lista pieselor scrise și desenate se întocmește în conformitate cu prevederile STAS 4659—78, indicîndu-se:

- denumirea și numărul de pagini al pieselor scrise;
- denumirea și numărul pieselor desenate în ordinea sistematizării lor pe ansambluri, subansambluri și elemente, prevăzută de sistemul de codificare al desenelor din STAS 4597—64.

Modul de redactare a pieselor desenate este indicat în STAS 6857/1—78 „Condiții generale pentru desene de execuție” și în cadrul paragrafului 2.4

## 2.1. NOTA DE COMANDĂ NC

Începerea activității de proiectare se referă la elaborarea, avizarea și aprobarea notei de comandă pentru întocmirea proiectului obiectivului de investiții.

NC este emisă de beneficiarul lucrării, fiind elaborată de acesta împreună cu proiectantul, aprobarea și avizarea revenind organelor competente indicate în cele ce urmează.

NC, cuprinzând indicatorii tehnico-economici limită ai soluției optime ce urmează a fi proiectată în detaliu, are la bază:

- studii și cercetări;
- nota de fundamentare tehnico-economică.

### 2.1.1. STUDII ȘI CERCETĂRI

Studiile și cercetările, necesare pentru înscrierea obiectivului de investiții în planul cincinal, sînt următoarele:

- a) prognoze macroeconomice pe ramuri și sectoare ale vieții sociale, pe subramuri, grupe de produse și în profil teritorial;
- b) studii de dezvoltare în perspectivă a ramurilor, subramurilor și grupelor de produse, studii de dezvoltare a economiei locale, cercetări și studii privind desfacerea produselor pe piață internă și la export;
- c) programe speciale de modernizare și asimilare;
- d) studii de sistematizare teritorială, studii de dezvoltare a sistemului energetic și studii de amplasament;
- e) cercetări și studii privind perfecționarea proceselor tehnologice;
- f) alte studii și cercetări necesare pentru fundamentarea investițiilor.

### 2.1.2. NOTA DE FUNDAMENTARE TEHNICO-ECONOMICĂ NFTE

NFTE stabilește necesitatea și oportunitatea investiției, permițînd înscrierea obiectivului în planul de investiții.

Pe baza comparației indicatorilor tehnico-economici ai diferitelor variante și soluții, NFTE recomandă în final varianta sau soluția optimă. Comparația se face și cu obiective similare, cu performanțe tehnico-economice ridicate, din țară și străinătate.

Piese scrise ale NFTE sînt: FT, BD și memoriul tehnic MT. Piesele desenate sînt schemele funcționale ale variantelor sau soluțiilor.

Principalele elemente ale MT sînt indicate în cele ce urmează:

#### 1. Analiza situației energetice:

- a) necesitatea și oportunitatea lucrării;
- b) capacitatea și caracteristicile noilor consumatori de energie electrică (pe categorii) a căror alimentare urmează a fi soluționată:
  - puterea maximă simultan absorbită, pe variante, cu eșalonarea pînă la etapa finală;
  - sensibilitatea consumatorului la calitatea energiei electrice (tensiuni utilizate, variații admise de tensiune și frecvență, factorul de putere, continui-

tatea în alimentarea cu energie electrică și consecințe în cazul întreruperii alimentării, condiții speciale de siguranță, regim deformant, regim dezechilibrat);

— dinamica consumului de energie electrică pe categorii de consumatori;

— caracteristicile motoarelor electrice (frecvența și felul pornirii);

— gradul de poluare al zonei;

c) situația energetică din zonă în prezent și în perspectiva următorilor 10 ani:

— capacitatea de producere, de transport și distribuție a energiei electrice;

— analiza balanței energetice a zonei, în regim normal și de avarie; condiții care determină modificarea configurației rețelelor;

— gradul de încărcare al instalațiilor;

— amplasarea surselor față de centrul de greutate al consumatorului.

La baza analizei energetice stă chestionarul energetic, pentru obținerea acordului unic pentru energie electrică — prezentat în tabelul 2.2, aprobat de către întreprinderea furnizoare de energie electrică.

Tabelul 2.2

**CHESTIONAR**  
pentru obținerea acordului unic pentru energie electrică  
(formular)

Nr. crt.	Datele energetice ale consumatorului	Receptoare	U/M	Situația existentă în anul		Spor de putere etapizat pentru anul				Situația finală anul
				198__	198__					
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**Observații.** Datele energetice ale consumatorului sunt:

- I. 1. Puterea instalată în receptoare, pe categorii
2. Puterea maximă simultan absorbită, pe categorii
3. Puterea totală maximă absorbită; — în afara vîrfului de sarcină; — în vîrful de sarcină.
4. Repartizarea puterilor totale maxime absorbite (în %) din puterea totală maximă absorbită, pe schimburi
5. Proiectant general (denumire, adresă)
6. Proiectanți de specialitate.
- II. Poziția lucrării în planul unic de dezvoltare economico-socială.
- III. Termenele de intrare în funcțiune, parțiale și finale, ale obiectivului.
- IV. Situația existentă
  1. Plan de situație a) cu amplasament, surse de energie electrică și puncte de racord;
  - b) poluarea de fond în zonă.
- V. Necesarul de energie electrică
- VII. Elemente pentru stabilirea soluției de alimentare cu energie electrică. Bilanț energetic.
- VIII. Randamente energetice ale utilajelor și instalațiilor
- IX. Principalele norme de consum energetic pe produse a) instalații existente;
- b) instalații noi proiectate
- X. Surse secundare.

## 2. Soluții de alimentare cu energie electrică :

a) se prezintă pe soluții și variante, posibilitățile de alimentare cu energie electrică a noilor consumatori, indicându-se modul de încadrare în sistem și regiunile caracteristice de funcționare ;

b) principalele caracteristici tehnice și constructive ale instalațiilor existente și ale celor proiectate :

- configurația rețelelor electrice de transport și distribuție și încadrarea în zonă a instalațiilor proiectate ;

- capacitatea stațiilor, punctelor de alimentare, posturilor de transformare și rețelelor electrice ;

- elemente de justificare a rezervei în linii sau surse ;

- concluzii rezultate în urma dimensionării conductelor și echipamentului electric (circulația puterilor, nivele de tensiuni, nivele de scurtcircuit, consum propriu tehnologic etc.) ;

- siguranța alimentării cu energie electrică ;

- exploatarea instalațiilor (cu personal în tură sau la domiciliu, fără personal, telecomandată) ;

- măsuri de prevenire și stingere a incendiilor (PSI) ;

- condiții naturale și de poluare, măsuri contra poluării ;

- măsuri de protecție împotriva supratensiunilor atmosferice și a cecilor de comutație ;

- măsuri de protecție împotriva electrocutării ;

- gradul de utilizare a instalațiilor existente ;

c) soluții constructive analizate :

descrierea soluțiilor constructive și caracteristicile principale ale conductelor și echipamentelor utilizate (din țară și din import) ;

- utilizarea la maximum a suprafețelor construite existente ;

- caracteristicile construcțiilor (materiale, fundații, înălțimi, grad de industrializare) ;

- lucrări de alte specialități (protecția L/Tc și legături Tc, racorduri la instalații de apă, termoficare, canalizare, drumuri, gaze) ;

- lucrări de folosință comună, cu indicarea obiectivelor respective și a beneficiarilor acestora, pentru asigurarea unui grad maxim de cooperare cu unitățile din zonă ;

- soluții pentru organizarea de șantier, posibilități de cooperare cu alte unități din zonă.

## 3. Compararea tehnico-economică a soluțiilor și variantelor analizate (par. 2.3) :

- evaluarea soluțiilor și a variantelor pe bază de indicatori limită de prețuri și materiale rezultați din lucrări asemănătoare sau stabiliți de forurile superioare :

- valoarea investiției specifice (în lei/kVA instalat, lei/km etc.) ;

- compararea tehnico-economică a soluțiilor și variantelor studiate, propunerea soluției sau a variantei optime ;

- concluzii privind soluția sau varianta propusă, valoarea totală a lucrărilor, din care valoarea lucrărilor de construcții-montaj (C+M) ; valoarea importurilor pe relații în lei și lei valută ; numărul de personal necesar (la stații) ; precizări referitoare la delimitarea exploatării instalațiilor ;

- lista cu principalele utilaje tehnologice și materiale din țară și import pentru soluția propusă.

#### 4. *Acorduri de principiu din partea forurilor indicate în par. 2.2.1.*

Pieșele desenate ale NFTE sînt :

1. Planul de situație al zonei (scara 1:25000 ... 1:5000) cu amplasamentul lucrării, instalațiile electroenergetice existente, precum și soluțiile și variantele studiate.

2. Schema electrică monofilară de încadrare în sistem a instalațiilor, analizată pe soluții și variante.

3. Planul cu sistematizarea rețelelor analizate și a ieșirilor din stații.

4. Schemele electrice de alimentare și schemele de amplasamente și trasee ale stațiilor de transformare, punctelor de alimentare, posturilor de transformare, iluminat exterior, iluminat interior, forță etc.

5. Planul de situație (scara 1:1000 ... 1:500) cu amplasamentul stațiilor și posturilor de transformare.

### 2.1.3. NOTA DE COMANDĂ

NC cuprinde datele necesare începerii proiectului de execuție, respectiv indicatorii tehnico-economiici limită ai soluției sau variantei optime indicate de NFTE.

Pieșele scrise ale NC sînt : FT, BD și NC (sau MT). Pieșele desenate sînt schemele funcționale ale soluției sau variantei optime.

Principalele elemente ale NC (vezi și Anexa nr. 1 a din Legea investițiilor) sînt următoarele :

#### 1. *Indicatori tehnici limită :*

— capacitatea, caracteristicile consumatorului și ale instalațiilor electrice necesare satisfacerii cererii de consum ;

— surse de alimentare cu energie electrică și amplasarea lor față de centrele de greutate ale consumatorilor ;

— gradul de încărcare al instalațiilor ;

— soluția propusă ;

— limita maximă a principalelor consumuri specifice (energie electrică, consum propriu tehnologic, materiale principale etc.) ;

— principalele caracteristici tehnice și constructive (capacitatea stațiilor și posturilor de transformare, a liniilor, secțiunea conductelor, numărul de circuite, tipul stîlpilor etc.) ;

— posibilitatea de folosire în comun a utilităților și obiectivelor de folosință generală pentru asigurarea unui grad maxim de cooperare cu consumatorii din zonă ;

— exploatarea instalațiilor și delimitarea exploatării.

#### 2. *Amplasamentul soluției aprobate :*

— amplasamente și trasee ale instalațiilor electrice ;

— gradul de ocupare a terenului ;

— exproprieri, transferuri de teren, demolări ;  
— drumuri de acces.

#### 3. *Precizări asupra părții de construcții :*

— tipul fundațiilor ;

— folosirea la maximum a suprafețelor construite existente ;



- folosirea materialelor ușoare de construcție;
- stabilirea înălțimii construcțiilor;
- indicarea principalelor caracteristici ale lucrărilor de instalații (iluminat, prize, încălzire, apă, canal etc.);
- consumurile limită ale principalelor materiale.

4. *Mijloace fixe ce se dezafectează ca urmare a apariției obiectivului.*

5. *Lucrări de organizare de șantier [25]:*

- prezentarea soluției adoptate;
- cooperarea cu alte unități din zonă.

6. *Indicatori economici limită:*

- valoarea totală a investiției, din care construcții-montaj;
- investiția specifică;
- valoarea anuală a producției nete, marfă și globale;
- productivitatea muncii, fizică și valorică;
- numărul de personal total, din care muncitori, în conformitate cu normele de muncă stabilite conform legii;
- cheltuieli totale și materiale la 1000 lei producție-marfă;
- valoarea acumulărilor anuale, din care beneficiu, rentabilitate;
- producția marfă și netă, acumulările totale și beneficiile la 1000 lei fonduri fixe;

durata de realizare a investiției până la punerea în funcțiune; principalele etape de realizare a investiției;

- durata de realizare a indicatorilor tehnico-economici aprobați;
- durata de recuperare a investiției din acumulări totale și din beneficiu;
- curs de revenire brut și net;
- aportul net valutar, din care în devize libere; termenul de recuperare a efortului valutar prin exporturi de mărfuri.

7. *Nota de comandă contract pentru mașini-unelte, utilaje și instalații tehnologice din import* (în conformitate cu Anexa nr. 8 din Legea investițiilor).

8. *Acorduri obținute:*

- lista acordurilor;
- condiții desprinse din acorduri și posibilități de rezolvare.

9. *Data predării proiectului de execuție.*

Piesele desenate ale NC sînt cele din NFTE, referitoare la soluția sau varianta optimă.

Elementele NC se analizează și se aprobă pe măsura elaborării lor în Consiliul tehnico-economic al proiectantului. Ele se dezbate și se însușesc apoi de consiliul de conducere al beneficiarului și al ministerului tutelar.

NC se avizează de către Banca de Investiții.

În funcție de ramura, subramura din care face parte lucrarea și de valoarea ei totală, NC se aprobă de către forurile de sinteză (CNST, IGSIC, MAGF), de către ministere, centrale industriale, întreprinderi etc (Anexa nr. 3 din Legea investițiilor).

## 2.2. PROIECTUL DE EXECUȚIE PE

PE este documentația care detaliază tehnic, aprofundează și concretizează prin soluții, elementele din NC. La adoptarea soluțiilor din PE trebuie să se asigure încadrarea strictă în indicatorii tehnico-economici aprobați prin NC.

PE este elaborat de proiectant pe baza NC aprobate, în termenul și limitele tehnico-economice stabilite de aceasta. Pentru elaborare, colectivele de ingineri vor încheia un angajament-contract (Anexele 6 și 7 din Legea investițiilor) care conține principalele atribuții ale colectivelor și ale institutului de proiectare, în scopul îmbunătățirii indicatorilor tehnico-economici din NC, dintre care se menționează :

- soluții la nivelul celor mai bune realizări obținute în țară sau străinătate ;
- folosirea materialelor, aparatelor, utilajelor etc. tipizate în producția internă ;
- reducerea consumurilor de materii prime, materiale, combustibili și energie ;
- eficiență economică, productivitate și calitate superioară a produselor.

Pe tot parcursul elaborării și realizării practice a PE, proiectantul va colabora cu beneficiarul și executantul lucrării, cu furnizorul de echipamente etc., asigurând asistență tehnică până la punerea în funcțiune a lucrării și atingerea parametrilor tehnici proiectați.

Fazele PE sînt :

- PE al obiectivului ;
- detalii și devize de execuție DDE ale obiectelor.

PE permite :

- stabilirea valorii obiectivului, care trebuie să fie mai redusă decît cea aprobată prin NC ;
- realizarea obiectivului în conformitate cu acordurile necesare ;
- aprobarea deschiderii finanțării lucrării (Anexa nr. 9 din Legea investițiilor) ;
- comanda și contractarea utilajelor din țară și din import pe baza listei utilajelor tehnologice care necesită montaj LUTM și Anexei nr. 8 din Legea investițiilor.

DDE permite :

- începerea execuției lucrărilor la obiectivul PE-ului, corelată cu termenele de livrare a utilajelor din LUTM ;
- decontarea lucrărilor realizate de către executant, pe baza devizelor de execuție.

În principiu elaborarea PE o precede pe cea a DDE. În realitate, unele părți ale PE nu pot fi elaborate fără ca în prealabil sau în paralel să se determine unele elemente ce sînt componente ale detaliilor de execuție, cum ar fi principalele elemente ale breviarului de calcul, scheme de montare etc.

PE și DDE vor fi analizate, avizate și aprobate separat sau împreună de către organele care au analizat și aprobat NC (par. 2.1.3).

## 2.2.1. PROIECTUL DE EXECUȚIE AL OBIECTIVULUI

Pieseile scrise ale PE sînt: FT, BD, memoriul general MG, devizul general DG, indicatorii tehnico-economici ai obiectivului ITE, LUTM, grafice și acorduri GA, proiectul de organizare a șantierului POS.

Pieseile desenate ale PE sînt schemele funcționale și unele dintre schemele de montare ale obiectelor.

Memoriul general MG al obiectivului reprezintă piesa scrisă care definește obiectul și modul de realizare al lucrării, prezentînd indicatorii tehnici ai obiectivului (Anexa nr. 5 din Legea investițiilor).

Principalele elemente ale MG sînt:

1. *Date generale* - denumirea lucrării, beneficiar, titular, localitatea de amplasare, proiectantul general, subproiectanții de specialitate, executanți, stația CFR cea mai apropiată, cu condiții de descărcare a utilajelor și materialelor.

2. *Indicatori tehnici* - capacitatea, profilul, caracteristicile instalațiilor proiectate, termene și etape de punere în funcțiune.

a) capacitatea instalațiilor:

- capacitatea maximă a stațiilor și posturilor;
- capacitatea liniilor;
- dinamica de dezvoltare a consumului în zonă;
- gradul de acoperire a consumului din instalațiile existente;
- circulația de puteri;

b) profilul și caracteristicile instalațiilor:

— puteri instalate, tensiuni, pierderi de tensiuni și energie, consum propriu tehnologic, compensarea puterii reactive, reducerea regimului deformat, a regimului dezechilibrat etc;

— instalațiile de forță și iluminat, tipul rețelelor, conducte și echipamente utilizate, numărul și tipul tablourilor de distribuție, instalațiile de protecție împotriva electrocutării, împotriva trăsnetelor etc;

— tipul posturilor de transformare, numărul transformatoarelor, numărul și destinația celulelor de medie tensiune, numărul și tipul tablourilor de distribuție, numărul de plecări, automatizări și protecții;

— numărul și destinația liniilor electrice, secțiunea și tipul conductelor, număr de stâlpi, măsuri împotriva electrocutării, măsuri de siguranță la traversări, paralelisme și distanțe minime pe verticală, măsuri de protecție împotriva supratensiunilor atmosferice etc;

— tipul stațiilor de transformare, numărul și caracteristicile de bază ale transformatoarelor (tensiuni, puteri nominale, reactanțe de scurtcircuit, reglaje de tensiune ș.a.), circulația de puteri, valorile puterilor și a curenților de scurtcircuit pe nivelele de tensiuni, tratarea neutrlui, structura conexiunilor circuitelor primare, numărul sistemelor de bare și secționări, numărul celulelor de înaltă și medie tensiune, măsuri de protecție etc;

c) durata de realizare a lucrării (în luni);

d) termen de punere în funcțiune (anul și luna).

3. *Încadrarea în sistemul energetic și zonă* (platformă sau incintă industrială) a instalațiilor proiectate:

— rețordarea la instalațiile existente;

— descrierea amplasamentului stațiilor și posturilor, a traseelor liniilor electrice;

— accesul liniilor de înaltă tensiune în stație;

— suprafețe de teren ocupate, documentații de scoatere din circuitului agricol;

- relief, inundabilitate, nocivități;
- drumuri de acces;
- posibilități de extindere a instalațiilor.

4. *Descrierea schemelor funcționale și de montare:*

— a schemei de încadrare în sistem, a schemei de alimentare a stației, posturilor și rețelelor electrice, a schemelor de protecție prin rele și automatizare ș.a.

5. *Exploatarea instalațiilor:*

- stabilirea personalului necesar, descrierea soluțiilor pentru instalațiile telefonice și telemecanice;
- delimitarea exploatării instalațiilor între întreprinderea furnizoare și cea consumatoare.

6. *Utilități necesare:*

- evidența lucrărilor de alimentare cu apă, termice, canalizări, drumuri, căi ferate etc;
- soluții pentru lucrări de organizare și cooperare cu unitățile din zonă.

7. *Construcții:*

- caracteristici și condiții impuse de teren conform referatului geotehnic anexat;
- indicații privind fundațiile, structurile de rezistență, acoperișurile, împrejuririle, drumurile etc.

8. *Siguranța funcționării și deservirii instalațiilor:*

- condiții de siguranță în alimentarea cu energie electrică, impuse de consumatori;
- condiții de siguranță impuse de sistemul energetic;
- modul de satisfacere a condițiilor de siguranță;
- indicatorii de siguranță în funcționare.

9. *Soluții pentru valorificarea resurselor energetice secundare.*

10. *Bilanțuri energetice.*

11. *Măsuri speciale de protecția muncii și PSI [49, 52]:*

— descrierea măsurilor speciale de protecția muncii adoptate în proiect, legate de tehnologia lucrărilor de C + M, inclusiv lucrările care pot fi executate sub tensiune la instalațiile proiectate; se vor indica lucrările care trebuie executate cu întreruperea tensiunii, punctele de întrerupere a tensiunii;

— descrierea măsurilor PSI deosebite, legate de amplasarea în apropierea unor obiective cu caracter special.

Devizul general DG al obiectivului conține indicatorii economici ai acestuia și se întocmește pe baza indicatorilor tehnico-economici orientativi în vigoare sau pe baza unor proiecte similare realizate, proiecte tip etc. După întocmirea fazei DDE, devizul general se reasează pe baza devizelor obiectelor componente (par. 2.3), fără a se depăși însă indicatorii economici aprobați prin NC și PE.

DG (Anexa nr. 2, macheta nr. 1 din Legea investițiilor) conține cheltuielile de investiții destinate construcțiilor, alimentării cu energie electrică, cheltuielile de proiectare, de execuție etc, reprezentând în final costul total al obiectivului.

Indicatorii tehnico-economici ai obiectivului ITE (Anexa nr. 2, macheta nr. 2 din Legea investițiilor), conțin în principal următoarele elemente:

valoarea totală a investiției (din care construcții-montaj), investiția specifică (lei/km, lei/t etc), capacitatea și termenele de punere în funcțiune, durata de recuperare a investiției, total personal muncitor, aport valutar cu termenul de recuperare din exporturi de mărfuri, comparația cu indicatorii economiei realizați la obiective similare realizate în țară și străinătate.

Lista utilajelor tehnologice care necesită montaj LUTM este prezentată în par. 2.3.2.

Graficele prezentate în PE sînt: de eșalonare a investiției (stabilite etapizarea execuției lucrărilor de construcții-montaj), de livrare a utilajelor (în concordanță cu graficul anterior), de asigurare a forței de muncă necesare exploatării obiectivului, de realizare a principalilor indicatori tehnico-economici etc.

Acordurile necesare provin din partea Consiliului popular județean, ministerului agriculturii, ministerelor energiei electrice, minelor, petrolului și geologiei, ministerului transporturilor și telecomunicațiilor, Consiliului național al apelor, Comitetului de stat pentru prețuri, Consiliului național pentru protecția mediului înconjurător etc.

Proiectul de organizare a șantierului POS se întocmește conform lucrării [25].

Pieseile desenate principale ale PE sînt următoarele:

1. Planuri de situație cu zona de amplasare, indicarea amplasamentului și a traseelor.
2. Scheme cu încadrarea în sistem a stațiilor și posturilor de transformare.
3. Scheme electrice de alimentare, cu indicarea caracteristicilor elementelor primare, a protecțiilor și automatizărilor.
4. Vederi în plan a stațiilor și posturilor.
5. Profile longitudinale și transversale la linii aeriene și în cablu.
6. Planurile instalațiilor de forță și iluminat.
7. Planurile de construcții.

## 2.2.2. DETALII ȘI DEVIZE DE EXECUȚIE DDE ALE OBIECTELOR

DDE ale obiectelor se elaborează pentru adaptarea la teren a proiectelor tip și pentru obiectele unicate prevăzute în NC, în strictă concordanță cu soluțiile și prevederile din PE aprobat.

Pieseile scrise ale DDE sînt: FT, BD, memoriul tehnic MT, breviarul de calcul BC și documentația economică DEc. Pieseile desenate ale DDE sînt schemele de montare, planurile de montare și documentele generale.

Memoriul tehnic MT, întocmit pentru fiecare obiect în parte, conține următoarele elemente principale:

1. *Prezentarea soluției tehnologice:*
  - descrierea schemelor electrice;
  - descrierea soluțiilor constructive ale instalațiilor proiectate;
  - prezentarea soluțiilor diferite de cele din proiectele tip sau directive, inclusiv justificarea temeinică a introducerii lor în proiect.
2. *Prezentarea soluției părții de construcții.*
3. *Măsuri de protecția muncii și PSI [49, 52]:*

— descrierea măsurilor respective adoptate în proiect, menționându-se modul de execuție al lucrărilor (cu sau fără întreruperea tensiunii).

#### 4. Măsuri de protecție a mediului înconjurător

Breviarul de calcul BC reprezintă un extras din notele de calcul ale proiectantului, conținând principalele rezultate ale dimensionărilor, verificărilor și ipotezelor de calcul, prezentate într-o succesiune logică. Notele de calcul se păstrează în arhiva unității de proiectare.

Documentația economică DEc (detaliată în par. 2.3) conține următoarele piese :

- devizul general ;
- devizele pe obiecte ;
- devizele pe categorii de lucrări ;
- întemăsurători pe categorii de lucrări ;
- extrase de materiale din țară și import ;
- listele utilajelor tehnologice și funcționale care necesită montaj.

Pieseile desenate ale DDE (indicate detaliat în par. 2.4) sînt următoarele : scheme desfășurate, secțiuni prin toate tipurile de celule, scheme (tabele) de conexiuni interioare și exterioare, planuri de montarea aparaturii pe echipamente, scheme sinoptice, scheme cu amplasamente și trasee, foi de pichetaj și tabele de săgeți la linii electrice aeriene, planuri de montare a echipamentelor și aparaturii locale, documente generale, planuri de construcții etc.

## 2.3 DOCUMENTAȚIA ECONOMICĂ DEc

### 2.3.1. PIESELE COMPONENTE ALE DEc

DEc stabilește valoarea exactă a obiectivului și obiectelor proiectate, permițînd decontarea lucrărilor realizate de către executant. Pieseile componente ale DEc sînt indicate în tabelul 2.1. și vor fi explicitate în cele ce urmează.

1. *Devizul general* DG al unui obiectiv conține recapitulația valorilor devizelor de obiectele aparținătoare obiectivului.

Delimitarea concretă a obiectului și precizarea codului acestuia se face de către proiectant (par. 2.3.2).

2. *Devizul pe obiect* conține recapitulația valorilor devizelor pe categorii de lucrări și a valorilor utilajelor tehnologice care necesită montaj cuprinse în LUTM, aferente obiectului respectiv.

Conform normativului [31] categoriile de lucrări care prezintă interes pentru proiectele de instalații electrice sînt următoarele :

- gr. IV, sgr. 3 — instalații electrice interioare, de lumină și forță, la construcții ;
- gr. XVII, sgr. 1 — linii aeriene și subterane peste 1 kV, posturi și stații de transformare ;
- gr. XVII, sgr. 2 — rețele electrice sub 1 kV și iluminat public ;
- gr. XVIII, sgr. 3 — montaje de utilaje tehnologice la linii, stații și posturi de transformare ;
- gr. XVIII, sgr. 4 — instalații de automatizare.

3. *Devizul pe categorii de lucrări* încadrează lucrările de executat la părțile de obiect, în articole de lucrări cuprinse în :

- indicatoare de norme de deviz, care detaliază materialele și manopera necesară realizării unității de măsură a fiecărui articol de lucrări ;

- cataloage de prețuri unitare pe articole de deviz, care detaliază valoarea materialului, a manoperei, a utilajului de montare și a transportului pe calea ferată CF, necesare realizării unității de măsură a fiecărui articol de lucrări. Dintre acestea se menționează :

C — construcții industriale, locuințe, social-culturale și agrozootehnice :

E — instalații electrice la construcții ;

W<sub>1</sub> — stații, posturi de transformare și linii de înaltă tensiune ;

W<sub>2</sub> — rețele de distribuție a energiei electrice, iluminat public și bransamente.

At — automatizări.

Din punct de vedere al modului de încadrare în devize, părțile de obiect se împart în :

- materiale, cuprinse ca elemente de cheltuieli materiale, manoperă, utilaje de montare și transport CF în devizul pe categorii de lucrări ; materialele sînt aparate, conducte, construcții metalice, construcții complexe, livrate detașat și care se montează în subansambluri, ansambluri, linii tehnologice ;

- utilaje tehnologice care necesită montaj ; sînt livrate complet furnizate în vederea montării lor ; ca elemente de cheltuieli de manoperă de montare, utilaj de montare și transport CF sînt cuprinse în devizul pe categorii de lucrări ; cheltuielile materiale sînt cuprinse în LUTM (par. 2.3.2., a cărei valoare face parte din devizul pe obiect ;

- utilaje funcționale sînt cele care intră în compunerea instalațiilor de utilizare generală (încălzire, iluminat, alimentare cu apă etc) : încadrarea lor în devize este identică cu cea a utilajelor tehnologice care necesită montaj.

Conform normativului 30 se consideră :

a) Materiale :

- aparatele de conectare, pornire, protecție, măsură, control, semnalizare, cu tensiuni nominale pînă la 1 kV, folosite în instalațiile de forță și iluminat ;

- dulăurile, tablourile, pupitrele, panourile de comandă, distribuție sau protecție, pentru instalațiile de forță sub 1 kV sau iluminat ;

- conductele electrice de orice tip, independent de tensiunea nominală ;

- aparatajul și instalațiile montate pe partea de joasă tensiune a posturilor și stațiilor de transformare, servicii proprii de c.a. și c.c., acumulare electrice ;

- stîlpii, izolatoarele, console, accesoriile liniilor electrice, independent de tensiune ;

- construcțiile metalice sau electroizolante de fixare, susținere sau separare a conductelor electrice, a aparatelor sau echipamentelor livrate gata asamblate.

b, Utilaj tehnologic care necesită montaj.

- aparatele avînd tensiunea nominală peste 1 kV ;

- mașinile electrice rotative ;

- condensatoarele de forță ;

— aparatele de comandă, măsură, control și semnalizare, inclusiv panourile și pupitrele pe care sînt montate, utilizate în instalațiile de automatizare;

— aparatajul electric montat pe un utilaj;

— aparatele de curenți slabi.

4. Din piesele componente ale DEc mai fac parte antemăsurătoarea și extrasul de materiale, care împreună cu LUTM și lista utilajelor funcționale, formează documentația necesară întocmirii devizelor pe categorii de lucrări.

## 2.3.2. DOCUMENTAȚIA TEHNICO-ECONOMICĂ NECESARĂ ÎNTOCMIRII DEVIZELOR PE CATEGORII DE LUCRĂRI

### 1. Antemăsurătoarea AM

Antemăsurătoarea este piesa scrisă prin care se determină cantitățile de lucrări din fiecare articol de lucrări, necesare a se executa la o categorie de lucrări (parte de obiect) din cadrul unui obiect.

La lucrările de montare a utilajelor tehnologice, antemăsurătoarea se înlocuiește cu lista utilajelor tehnologice care necesită montaj.

Antemăsurătoarea se redactează pe părți de obiecte — ansambluri, subansambluri, elemente. Fiecare parte de obiect este executabilă cu continuitate în aceeași etapă a procesului de execuție. Fiecărei părți de obiect i se atribuie un număr curent și un cod, stabilite prin nomenclatoare specifice pe părți de obiect ale grupelor principale de obiecte, elaborate de ministere sau organe centrale. Listele claselor de obiecte de construcții din clasificarea unitară a produselor și serviciilor (CUPS) și a nomenclatoarelor părților de obiect corespunzătoare sînt cuprinse în Buletinul construcțiilor, vol. 5, 1977. *Exemplu:*

obiect-cod 757 80 00 instalații electrice tehnologice interioare de forță cu  $U_n > 1$  kV;

ansamblu-cod A 0000 circuite electrice în cabluri;

ansamblu-cod AE 000 montate aparent pe diverse elemente;

element-cod AEA 10 cu conductoare din aluminiu, accesorii și confecții metalice instalate pe ziduri.

Partea de obiect este constituită din articole de lucrări cuprinse în indicatoarele și cataloagele menționate în paragraful anterior.

Antemăsurătoarea se redactează deci pe părți de obiect, care cuprind la rîndul lor articole de lucrări — tabelul 2.3.

Pentru fiecare articol de lucrări se înscriu:

— numărul curent format din numărul curent al părții de obiect urmat de numărul curent al articolului de lucrări din cadrul părții de obiect;

— simbolul articolului de lucrări, din indicatoare sau cataloage;

— calculul cantității de lucrare pe baza datelor din documentația desenată (pentru fiecare parte de obiect). Cantitățile de lucrări se rotunjesc în plus la a treia cifră semnificativă (ex. pentru 1214 se trece 1220; pentru 9,321 se trece 9,330; pentru 123 307 se trece 124 000).

Transportul și manipularea pămîntului rezultat din săpături se înscriu ca articole de lucrări, luîndu-se în considerare greutatea volumetrică de 1800 kg/m<sup>3</sup> (indicator Ts-terasamente).



**Antemăsurătoare**  
(partea de obiect) instalații electrice de forță  
pentru . . . . .  
(formular)

Proiectant . . . . . Obiectul . . . . .  
Număr de cod proiect . . . . . Codul obiectului 757-71-00 . . . . .  
Beneficiar . . . . . Grupa (sgr) de categorii de  
lucrări gr. IV, sgr. 3  
Nr. deviz pe categorii de lucrări

Nr. ct*	Cod Simbol	Denumirea părților de obiect Calele cantități pe articole	Unit. de măsură	Cantitate totală
01 0101	AE 000 EC03A01 467	Circuite electrice în cabinri montate aparent 50 - 100 - 100 - 250	ml.	250
0102	EC12C01	1 - 3 - 2 - 2 - 8	buc.	8
02 0201	TA 000 EL08G01	Aparate electrice de comutație 1	buc.	1
03 0301	TC 000 EP04C01 15805	Tablou de distribuție capsulat 1	buc.	1

În cazul în care lucrarea de executat nu are corespondent (sau nu se poate asimila) cu unul din articolele din indicatoare sau cataloage, se va încadra într-o normă de deviz locală NL, compusă din mai multe articole din indicator și (sau) elementele fără corespondent, întocmită conform paragrafului 2.3.3.

*2. Lista utilajelor tehnologice care necesită montaj*

Cuprinde caracteristicile tehnice, cantitățile, valoarea de procurare a utilajelor tehnologice prevăzute în nota de comandă, pentru fiecare obiect în parte. Se întocmește pentru utilaje din țară și import (Est sau Vest) — tabloul 2.4.

*3. Lista utilajelor funcționale care necesită montaj*

Se întocmește separat pe fiecare obiect, pe modelul de formular din tabloul 2.4.

*4. Extrasul de materiale*

Cuprinde denumirea, caracteristicile tehnice principale, unitatea de măsură și cantitatea sortimentelor materialelor, determinată pe baza cantităților din articolele de lucrări prevăzute în antemăsurătoare și a consumurilor din indicatoarele de norme de deviz respective. Cantitățile rezultate pentru sortimentele identice se însumează, iar totalurile se înscriu în extrasul de materiale.

Extrasul de material va cuprinde și produsele de balastieră și carieră, pe sortimente.

Lista utilajelor tehnologice care necesită montaj (formular)

Nr. crt.	Subansamblu	Cod ca produse ITCM 352/1971 ca mijloace fixe, legea 62/1969	Denumirea pe tipuri de utilaje identice (caracteristici tehnice, capacități, dimensiuni etc.).	Nr. buc.  Greutate pe bucată	Valoare (lei)		Temei legal preț utilaj	Furnizor	Date pentru antemăsurătoare		
					Pe bucată	Totală			Simbol norma deviz	U M	Cantitatea
					din care materiale cf. ord. 29/1973	din care materiale cf. ord. 29/1973					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A			A. Utilaje din țară								
B			B. Utilaje din import Est								
C			C. Utilaje din import Vest								

## 2.3.3. DEVIZUL DE CATEGORII DE LUCRĂRI [31]

Constituie piesa scrisă principală a documentației economice a DDE și conține descrierea lucrărilor de executat la părțile de obiect din cadrul unui obiect, cheltuielile necesare execuției și valorile parțiale și totale ale acestor lucrări — tabelul 2.5. Pentru utilajele tehnologice și funcționale se vor înscrie numai lucrările de montare, valoarea lor fiind cuprinsă în listele respective.

Devizul se redactează ca și antemăsurătoarea, pe părți de obiect, (ansambluri, subansambluri), care la rândul lor cuprind articole de lucrări.

Valoarea de deviz a lucrărilor este alcătuită din următoarele capitole de cheltuieli:

— cap. A, care cuprinde cheltuielile directe aferente articolelor de lucrări;

— cap. B, care cuprinde alte cheltuieli directe (transporturi de materiale, sporuri de manoperă etc);

— cap. C, D și E, care cuprind cheltuielile indirecte, respectiv pentru introducerea tehnicii noi și cota de beneficiu.

În capitolul A, se înscriu pe coloane, următoarele:

1 — numărul curent (conform AM);

Devizul pe categorii de lucrări (formular)

Proiectant . . . . .  
 Număr de cod proiect . . . . .  
 Beneficiar . . . . .

Obiectul . . . . .  
 Codul obiectului 757 71 00  
 Grupa (sgr) de categ. de lucrări gr. IV sgr. 3  
 Valoarea devizului : 4 900 lei.

Deviz nr. . . . .  
 pentru . . . (partea de obiect) — instalații electrice de forță, întocmit la (data) . . . . .  
 (Formular)

Articole de lucrări			Valori pe articole și alte elemente ale devizului						Cantitatea totală (tone) a materialelor pe articole
Nr. crt.	Cod. Simbol	a. Unitatea de măsură și cantitatea pe articol. b. Denumirea articolelor c. Greutățile materialelor pe unitatea de articol (tone).	Piețuri mixate a. Materiale b. Manopera c. Utilaje de constr. d. Transp. CP	Materiale	Manoperă	Utilaj de constr.	Total	Transp. CP	
1	2	3	4	5 (3a × 4a)	6 (3a × 4b)	7. la × 4c	8 (5 + 6 + 7)	9 (8 × 4d)	
A. Cheltuieli directe - articole de lucrări									
01	AE000	Circuite electrice în cablu ml. 100	31,50	3 150	387	-	3 537	-	
0101	BC03A01	Cabluri tip ACYABY-1 kV, 4 × 4 mm <sup>2</sup>	3,87						
	467	0,00038	0,01					1	
								0,038	
0102	BC13C01	buc. 8	3,96	32	59	-	91	-	
		Cap terminal uscat ...	7,32						
		0,00	0,00					0,00	
Total subansamblu AE 000				1 182	446	-	3 628	1	
								0,038	
B. Cheltuieli indirecte									
02	TA000	Aparate electrice de comutație buc. 2	122,30	245	16	-	261	-	
0201	FD03A01		8,11						
	14323	Contacteur antenaș TC-A - 10A 0,00	0,00						
			0,00						
Total TA000				245	16	-	261	-	

Tabelul 2.5 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
03	TC000	Tablou de distribuție capsulat							
0301	EP04C01	buc. 1	225	225					
15505		Tablou electric capsulat din ontii	35,60		36	—	261		
			0,00						
		0,00	0,00						
		Total TC 000	—	225	36	—	261	—	—
	TOTAL			3 652	498	—	4 150	1	0,038
	Reduceri pentru actualizarea consumurilor de								
	resurse:								
	-- mat. 3 652 x 0%			—	—		—		
	-- manop. 498 x (-15%)				—75		—75		
	TOTAL I ARTICOLE DE LUCRARI		—	3 652	423	—	4 075	1	0,038
	B. <i>41e cheltuieli directe</i>								
	Transportul materialelor			1			1		
	Transportul auto al materialelor								
	0,038 x 15 lei/tonă			1			1		
	TOTAL II -- CHELTUIELI DIRECTE			3 654	423		4 077		
	C. <i>Cheltuieli indirecte</i>								
	4 077 x 0,1315						536		
	D. <i>Cheltuieli pt. tehnica p.m.d.</i>								
	(4 077 + 536) x 0,0005						2		
	E. <i>Beneficiu</i>								
	(4 077 + 536 + 2) x 0,05								231

Producția netă este 4 846 -- 3 654 + 0 + 0,25 · 536] 1 058 lei.

TOTAL, 1993	4 846
Pentru reținut	54
TOTAL, DE VIZ	4 900

2.3 — articole de lucrări cu cod și simbol, unitatea de măsură și cantitatea, greutatea materialelor (în tone) pe unitatea de articol, conform AM;

4 — prețuri unitare de deviz pe elemente de cheltuieli: materiale, manoperă (conținând și manipularea manuală), utilaj de montare și frahte medii pentru transporturi CF; aceste valori se iau din catalogul de prețuri unitare utilizat.

**Observație.** Articolelor de lucrări indicate cu asterisă în cataloagele de prețuri (ca având prețuri unitare incomplete), denumite materiale neexplicate, li se adaugă la prețurile unitare, valorile indicate în „Catalogul de prețuri de producție și livrare” al MICM. În acest caz simbolul articolului se completează cu o linie de fracție sub care se înscrie numărul curent al poziției din catalogul respectiv.

În cazul în care articolul precizat de proiectant nu este cuprins în indicații și cataloage, prețul de deviz al acestuia se stabilește pe baza unei norme de deviz locale NL (sau analiză de preț), întocmită în conformitate cu prevederile ICCPDC — „Metodologie pentru elaborarea normelor noi de deviz și a prețurilor unitare pe articole de deviz”, 1977.

NL conține următoarele elemente pe unitatea de măsură a articolului:

- valoarea totală a materialelor, redactată sub forma unui tabel conținând sortimentele de materiale utilizate, unitatea de măsură, cantitatea, prețul unitar și total;

- valoarea manoperei, respectiv categoria, treapta și retribuirea orară și totală a forțelor de muncă necesare;

- cheltuielile pentru utilaje de montare;

- cheltuielile de transport CF.

5, 6, 7 și 9 — valorile parțiale se înscriu, pe elemente de cheltuieli în coloanele respective;

8 — valoarea totală de deviz a articolului;

10 — greutatea totală a materialelor, pe fiecare articol.

La acest total se aplică reducerile pentru actualizarea consumurilor de resurse: gr. IV, la manoperă — 15%; gr. XVII, la materiale între —10% și —20%, la manoperă între —20% și —40%; gr. XVIII, la materiale între —1% și —10%; la manoperă între — 20% și —30%.

TOTAL I — articole de lucrări, rezultă din diferența cheltuielilor directe și a reducerilor.

În cap. B se înscriu:

- cheltuielile cu transportul CF al materialelor în coloanele 5 și 8 se înscrie valoarea TOTAL I din coloana 9;

- cheltuielile pentru transport cu autovehicule, în coloanele 5 și 8 valorile în lei/tonă vizând transportul de la bazele județene de aprovizionare tehnico-materială sau furnizori locali, până la executant, sînt stabilite de comun acord cu beneficiarul;

- sporul de manoperă aferent lucrărilor pentru care s-a aprobat nivelul A de retribuire (în coloanele 6 și 8);

- alte cheltuieli directe cu caracter special, aprobate de Consiliul de Miniștri.

TOTAL II - se obține din totalizarea pe coloane a valorilor înscrise în capitolele A și B (TOTAL I la care se adaugă valorile din cap. B).

Cap. C — în coloana 8 se înscrie valoarea obținută prin aplicarea cotei medii de cheltuieli indirecte aferente grupei (sgr) de categorii de lucrări, la valoarea TOTAL II din coloana 8. Cota medie de cheltuieli indirecte are valorile: gr. IV, sgr. 3 — 13,15%; gr. XVII sgr. 1 — 9,85%; gr. XVII sgr. 2 — 10,35%; gr. XVIII, sgr. 3 — 11,73%; gr. XVIII, sgr. 4 — 9,40%.

Cap. D — în coloana 8 se înscrie valoarea obținută prin aplicarea unei cote fixe de 0,05% la suma valorilor din coloana 8, cheltuieli directe și indirecte (TOTAL II + cap. C).

Cap. E — în coloana 8 se înscrie valoarea obținută prin aplicarea cotei de 5% valorilor din coloana 8 ale cap. A-D (TOTAL II + cap. C + cap.D)

**Observație.** Toate valorile din coloanele 5... 8, pe articole de lucrări, se rotunjesc în plus la lei întregi.

Prin însumarea, pe coloana 8, a valorilor tuturor capitolelor devizului (TOTAL II + cap. C + cap. D + cap. E) se obține valoarea TOTAL DEVIZ pe categorii de lucrări. Acest total se rotunjește în plus după cum urmează:

- pentru valori sub 100 000 lei, la sute de lei întregi;
- pentru valori peste 100 000 lei (la mii lei întregi.)

În conformitate cu decizia ICCPDC nr. 1/15.01.1979 privind completarea normativului P 91 -- 77, în deviz se evidențiază și producția netă, rezultată pe baza relației:

Producția netă de deviz = TOTAL DEVIZ (nerotunjit) — TOTAL II (col. 5 materiale) + TOTAL II (col. 7 utilaj) + kxcap. C (chelt. indirecte).

Coeficientul *k* este indicat în tabelul 2.6.

Tabelul 2.6

Valorile coeficientului *k*, reprezentând ponderea cheltuielilor materiale de producție din valoarea cheltuielilor indirecte

Gr.	sgr.	Coeficientul <i>k</i>	
		Lucrări în antrepriză	Lucrări în regi
IV	3	0,25	0,25
XVII	1	0,22	0,30
XVII	2	0,22	0,30
XVIII	3	0,41	0,41
XVIII	4	0,41	0,41

Devizele pe categorii de lucrări și extrasele de materiale se pot obține și cu ajutorul calculatoarelor numerice, pe baza bibliotecii de programe DØCEC elaborată de COCC București.

## 2.3.4. DEVIZUL PE OBIECT

Devizul pe obiect se întocmește pe formularul indicat în tabelul 2.7 și cuprinde totalurile rotunjite ale devizelor pe categoriile de lucrări care fac parte din obiectul respectiv.

Tabelul 2.7

Deviz pe obiect (formular) Hala de fabricație, Cod . . . . .

Nr. crt.	Devize pe categorii de lucrări componente ale obiectului			Valorile de deviz ale :			Total
	Nr. deviz	Grupa (subgrupa) de categorii de lucrări		Lucrărilor de construcții	Lucrărilor de instalații electrice	Utilajelor funcționale care necesită montaj	
		Simbol	Denumire				
0	1	2	3	4	5	6	7

Total deviz pe obiect :

Din devizul pe obiect mai fac parte :

- tabelul de calcul cuprinzând valoarea corectării prețului de deviz al produselor de balastieră și carieră ;
- valoarea utilajelor tehnologice și funcționale care necesită montaj.

## 2.4. DOCUMENTAȚIA DESENATĂ DD

Cunoașterea și interpretarea corespunzătoare a tuturor pieselor, care compun documentația desenată a proiectelor de instalații electrice, este deosebit de importantă atât în fazele de elaborare a acestora, cât și în execuție și exploatare. Forma și conținutul documentației desenate, absolut necesare la execuția instalațiilor electrice, sînt stabilite prin standarde de stat.

Noțiunea de instalații de automatizare avînd un caracter cuprinzător, regulile pentru întocmirea documentației tehnice desenate expuse în STAS 7070—74, sînt aplicabile și se utilizează și în cazul instalațiilor electrice industriale. În cele ce urmează, din motive de claritate și simplitate a expunerii se fac referiri în special la instalații de automatizare, dar trebuie avut în vedere gradul lor de generalitate, în conformitate cu extinderea menționată mai sus.

Reprezentarea pe scheme a echipamentelor se face prin semnele convenționale, stabilite prin standardele în vigoare [27]. Pentru cele care nu sînt prevăzute semne convenționale, reprezentarea se poate face prin semne adaptate, care se definesc pe desenul respectiv.

Identificarea fiecărui echipament sau aparat, precum și a conductelor electrice, face necesară notarea acestora prin simboluri literal-numerice denumite mărci. Modalitățile de marcăre sînt de asemenea reglementate prin standarde de stat [62, 63, 68].

#### 2.4.1. MARCAREA APARATELOR ȘI ECHIPAMENTELOR

În vederea unei marcări expresive și sistematice, toate aparatele și echipamentele au fost împărțite în grupe, iar fiecărei grupe i s-a afectat un simbol literal dintre literele latine minuscule. Corespondența grupă-simbol literal, precum și aparatele, mașinile și celelalte echipamente concrete care aparțin fiecărei grupe sînt prezentate în tabelul 2.8.

Tabelul 2.8

Simboluri literale pentru marcarea grupelor de aparate și echipamente

Grupa de aparate sau echipamente	Simbolul	Exemple
Înteruptoare	<i>a</i>	Separatoare, înteruptoare de putere, înteruptoare automate, echipamente pentru pornire automată
Înteruptoare auxiliare	<i>b</i>	Înteruptoare de comandă, butoane de comandă, chei de comandă și separare, fișe de prize, contacte acționate de parametri neelectrici (microînteruptoare, limitatoare de cursă, presostate, relee de curgere, termostate)
Contactoare	<i>c</i>	Contactoare de putere
Contactoare auxiliare	<i>d</i>	Contactoare (relee) de comandă, relee de timp etc.
Dispozitive de protecție	<i>e</i>	Siguranțe, declanșatoare primare, relee de protecție, relee de gaze (Bucholz) etc.
Transformatoare de măsură și traductoare	<i>f</i>	Transformatoare de curent, de tensiune etc.
Aparate de măsurat	<i>g</i>	Ampermetre, voltmetre etc.
Avertizoare luminoase și acustice	<i>h</i>	Avertizoare optice, relee de semnalizare, contoare numerice, sonerii, lupe, lămpi de semnalizare etc.
Condensatoare și bobine	<i>h</i>	Condensatoare de tot felul, reactanțe inductive, bobine de filtrare etc.
Mașini și transformatoare	<i>m</i>	Generatoare, motoare, convertizoare, transformatoare etc.
Redresoare	<i>n</i>	Instalații și aparate redresoare
Tuburi electronice, semiconductoare etc.	<i>p</i>	Tuburi cu vid sau cu gaze, semiconductoare, diode etc.
Rezistențe	<i>r</i>	Rezistențe de pornire, de cimp, de frinare, potențio-metre, șunturi etc.



Grupa de aparate sau echipamente	Simbolul	Exemple
Alte dispozitive de acționare	s	Cuplaje de frinare magnetice, electromagneți de ridicare, servomotoare electrice
Dispozitive complexe	"	Dispozitive complexe formate din aparatele specifice din acest tabel. De exemplu: instalații de încercare, aparate de încărcat acumulatori, instalații de comandă sau de apel, precum și toate părțile instalațiilor care nu sunt cuprinse în aparatele specificate în acest tabel.
Elemente logice	y	Elemente fundamentale ale sistemelor de comutație statică („TIMP”, „NICI”)
Armături mecanice diverse	v	Diverse robinete, vase de condensare sau separație, filtre de aer etc.

Simbolul literal se completează la nevoie astfel:

— după simbol se trec una sau mai multe cifre reprezentând numărul de ordine al echipamentului în cadrul grupei din care acesta face parte;

— înaintea simbolului se trece o cifră reprezentând marca subansamblului;

— înaintea mărcii subansamblului se poate scrie (dacă este cazul) o literă mare, reprezentând marca ansamblului, caz în care mărcile ansamblului și subansamblului se despart printr-o liniuță orizontală.

În mod obișnuit, pentru cazurile simple se utilizează mărci alcătuite din simbolul literal al grupei și numărul de ordine al echipamentului, ca de exemplu *a7*, *c5*, *m1*, *n12*, *y9* etc.

Șirurile de cleme se marchează prin litera L, precedată de o cifră indicând numărul șirului. Marcarea clemelor se face indicând șirul de clemă și apoi, despărțit printr-o liniuță, numărul de ordine al clemei în cadrul șirului. Clemele mai pot fi marcate prin cifre sau combinații de litere mari și cifre, în cazul folosirii principiului nodurilor la marcarea conductoarelor și clemelor (v. par. 2.4.4).

Figura 2.1 reunește toate indicațiile de alcătuire a simbolurilor de marcă, conform celor menționate mai sus. De exemplu, notația *T — 2a5* semnifică întreruptorul 5 din dulapul nr. 2 al tabloului de comandă T, iar *1L—18* reprezintă clema nr. 18 din șirul de cleme nr. 1.

Având în vedere că fiecare grupă din tabelul 2.8 conține mai multe tipuri de aparate sau echipamente care prezintă diferențieri principiale, este de remarcat că numai perechea semn convențional-marcă permite identificarea corectă a tipului de aparat sau echipament.

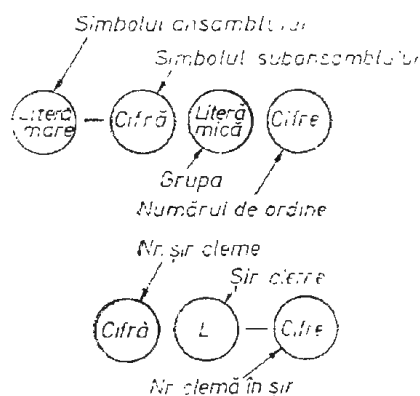


Fig. 2.1. Explicativă pentru alcătuirea simbolurilor de marcă:

a — pentru aparate și echipamente; l — pentru cleme.

În final, mai este necesar să se cunoască sau să se stabilească marcarea bornelor aparatelor și echipamentelor, în care scop se consultă cataloagele producătorilor și STAS 10636—76, care prevede un sistem uniform de marcarea a acestora.

## 2.4.2. MARCAREA CONDUCTELOR ELECTRICE

Marcarea conductelor electrice de interconectare a echipamentelor și aparatelor se face în scopul ușurării realizării circuitelor fizice pe baza schemelor de montare, a identificării lor în toate piesele documentației desenate. Modul de marcarea a conductelor electrice este reglementat prin STAS 9838—74.

Ca repere de identificare ale conductelor electrice pot servi: manșoane sau inele inscripționale, culoarea izolației, manșoane sau inele colorate ș.a. [63, 68].

Sistemele de marcarea se diferențiază în două categorii:

- sisteme de marcarea principale, bazate pe topologia circuitelor, fără a se lua în considerare rolul lor funcțional. Utilizarea unuia dintre aceste sisteme este obligatorie;
- sisteme de marcarea complementare, bazate pe rolul funcțional al circuitelor.

În figura 2.2 se prezintă organigrama sistemelor de marcarea, pentru exemplificare indicându-se consultarea [68].

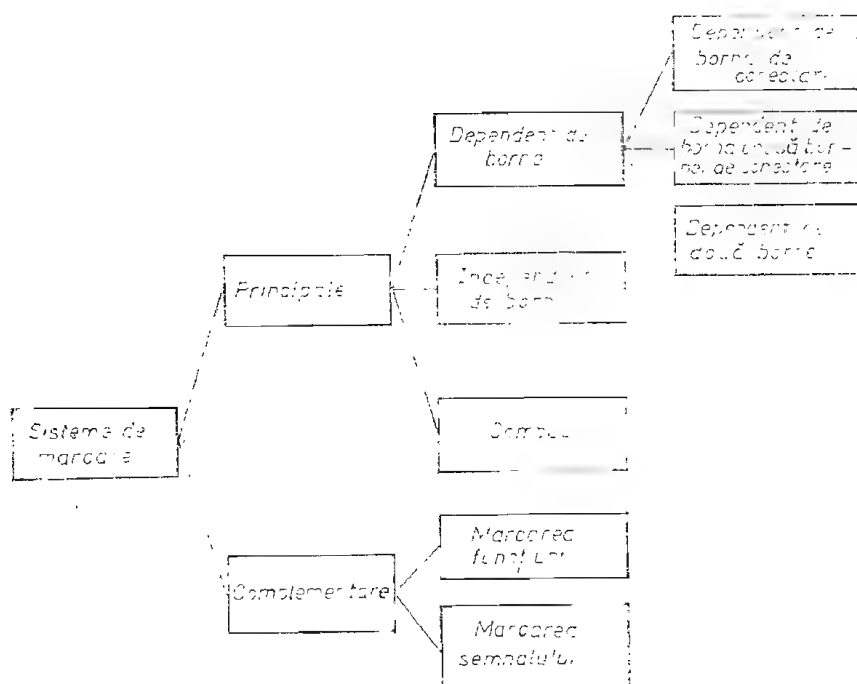


Fig. 2.2. Organigrama sistemelor de marcarea a conductelor electrice.

Sistemul de marcarea dependent de borne recurge la marcarea conductelor prin mărcile bornelor la care sînt racordate capetele conductei respective. Sistemul de marcarea este dependent de borna de conectare, dacă reperul marcat la o extremitate a unei conducte electrice este același cu cel marcat pe borna la care conducta se racordează sau dependent de borna opusă bornei de conectare, dacă reperul este marca bornei de la cealaltă extremitate (mai frecvent utilizat). Aceste sisteme sînt recomandate circuitelor de interconectare din interiorul utilajelor, echipamentelor sau aparatelor (conexiuni interioare la un tablou de utilaj, panou, dulap etc).

Sistemul de marcarea dependent de două borne, adică de ambele borne — cea de conectare și cea opusă — se poate aplica numai conductelor electrice destinate interconectării exterioare, pe distanțe relativ mari (conexiuni exterioare), ceea ce este și cazul instalațiilor electrice industriale.

Sistemul de marcarea independent de borne răspunde unor cerințe suplimentare ca indicarea nodului electric din care face parte conducta, numerotarea conductelor pentru ușurarea identificării lor în jurnalul de cabluri și conducte ș.a.

Sistemul de marcarea complementar poate avea în vedere fie marcarea funcțiunii circuitelor (de forță, comandă, măsură, semnalizare, protecție etc.), fie a felului semnalului transmis (tensiune alternativă, continuă pozitivă sau negativă etc). Folosirea acestui sistem este la latitudinea furnizorului instalației sau a executantului conexiunilor exterioare. Semnele complementare pot fi litere, litere și cifre urmate de semnele de polaritate [68].

### 2.4.3. CLASIFICAREA PIESELOR DESENAȚE

Documentația tehnică desenată pentru instalații electrice se clasifică în următoarele patru grupe: scheme funcționale, scheme de montare, planuri de montare și documente generale.

Schemele funcționale se clasifică în:

- schema tehnologică;
- schema bloc;
- schema de alimentare (distribuție);
- schema desfășurată;
- diagrama funcțională.

Schemele de montare se clasifică în:

- scheme de conexiuni interioare;
- tabele de conexiuni interioare;
- scheme de conexiuni exterioare;
- tabele de conexiuni exterioare.

Planurile de montare cuprind:

- planuri de montare a aparaturii pe echipamente;
- scheme sinoptice, tabele cu texte de etichete și alte elemente necesare realizării echipamentelor;

- scheme de amplasamente și trasee;

— planuri de montare a echipamentului electric și a aparaturii locale.

Din documentele generale fac parte:

- specificația de echipamente;
- specificația de agregate și aparate locale;
- specificația de aparate pe echipament;

- fișe tehnice;
- jurnale de cabluri și conducte.

Pentru toate desenele care nu constituie documentație pentru prelucrări mecanice, se poate folosi un indicator de mărime redusă care să cuprindă următoarele date minime: denumirea întreprinderii la care s-a întocmit desenul, proiectantul și verificatorul, data elaborării, titlul și numărul desenului conform borderoului, pagina și numărul total de pagini (v. exemplul din fig. 2.4, e).

## 2.4.4. CONȚINUTUL PIESELOR DESENATE

### A. Scheme funcționale

a. *Schema tehnologică cu automatizări* prezintă elementele instalației tehnologice (automatizate) cu legăturile lor funcționale, pe care sînt figurate echipamente și circuite ale instalației de automatizare. Această piesă desenată evidențiază deci legăturile funcționale dintre instalația automatizată și de automatizare. Reprezentarea echipamentelor electrice cu rol de comandă, măsurare sau reglare se face conform [62].

b. *Schema bloc* prezintă simplificat elementele unui aparat, echipament, utilaj sau ale unei instalații de automatizare, în scopul clarificării principiului lor de funcționare.

Ansamblurile și elementele instalației de automatizare se reprezintă prin figuri geometrice simple și se marchează în mod corespunzător [63, 62]. Legăturile funcționale dintre blocuri se trasează prin linii drepte, pe care se indică, prin săgeți, sensul de circulație al diverselor mărimi.

c. *Schema de alimentare* cuprinde alimentarea cu energie a echipamentului sau a instalației de automatizare. Se prezintă elementele primare ale

instalației electrice și legăturile dintre ele, într-o reprezentare monofilară. Elementele secundare pot fi trecute pe scheme prin simboluri generale simplificate, fără legăturile dintre acestea.

Se recomandă ca pe schema de alimentare să se treacă o legendă a aparatelor și echipamentelor, cuprinzînd mărcile și denumirile lor.

În electroenergetică, pentru schemele de alimentare se mai folosesc denumirile de scheme de distribuție sau monofilare.

În figura 2.3 este prezentat un exemplu de alcătuire a unei scheme de alimentare pentru instalația electrică de pe strungul normal SN-400 (a se vedea și figurile 4.33 ... 4.35, 4.48 etc.).

d. *Schema desfășurată* cuprinde legăturile dintre echipamentele elec-

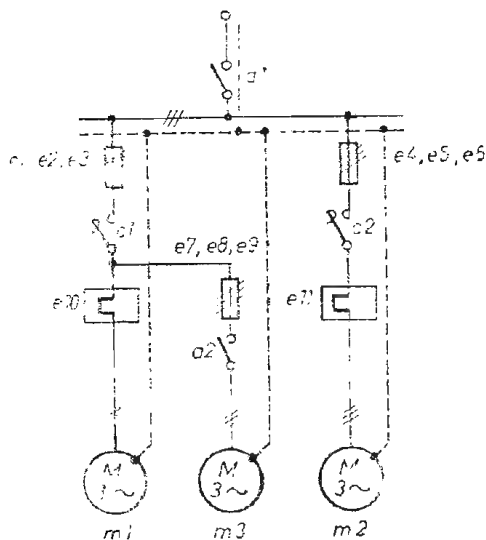


Fig. 2.3. Schema de alimentare a instalației electrice de pe un utilaj (strungul normal SN 400).

trice sau dintre elementele componente ale acestora, realizate într-o ordine funcțională, circuitele astfel formate fiind dispuse într-o succesiune logică pentru a permite înțelegerea ușoară.

În figura 2.4, se prezintă ca exemplu o filă din schema electrică desfășurată a unei instalații pentru comanda pompelor de transvazare.

Circuitele, mai ales cele secundare, se desenează de regulă între linii orizontale. Fiecare circuit se marchează cu un număr de ordine, care în cazul circuitelor polifazate de energie este același pentru toate fazele. În cadrul aceleiași scheme desfășurate, circuitele se numerotează în continuare (fig. 2.4, 4.20, 4.23).

Elementele aparatelor și echipamentelor care cuprind două sau mai multe circuite electrice proprii se reprezintă separat, fiecare element în circuitul corespunzător de pe schema desfășurată, și li se atribuie marca aparatului sau echipamentului căruia îi aparțin. Pentru reprezentarea grafică a elementelor de circuit se folosesc semne convenționale adecvate [27]. În continuare, este necesar să se marcheze toate bornele aparatelor și echipamentelor (v.par. 2.4.1).

În schemele desfășurate, se mai indică o serie de date care să permită o informare completă și rapidă :

- diagramele funcționale ale unor echipamente (controlere, comutatoare, chei de comandă), care cuprind, într-o ordine determinată, totalitatea stărilor de funcționare succesive ale instalației, cu sau fără valori de intervale de timp sau spațiu între operațiile succesive (v. fig. 2.4, b) ;

- valorile numerice ale unor mărimi caracteristice ca puterea electrică (receptoare), curentul nominal (siguranțe fuzibile), tensiunea (pentru punctele de control), rezistența, capacitatea etc. ;

- manșeta, în care se înscrie rolul fiecărui circuit sau grup de circuite, se dispune deasupra sau dedesubtul schemei desfășurate (v. fig. 2.4, c). Uneori manșeta se folosește și la schemele de alimentare ;

- în dreptul circuitului fiecărui element de comandă sau execuție (bobină) se simbolizează totalitatea contactelor aparținând aparatului respectiv, iar în dreptul fiecărui contact se înscrie între paranteze, numărul de ordine al circuitului în care acesta lucrează (v. fig. 2.4, f) ;

- în dreptul contactelor din schema desfășurată se trece sub marca aparatului, ca la o fracție, la numitor, numărul circuitului în care se află elementul de acționare (bobina) a contactului respectiv ;

- legenda, cu același conținut ca la schema de alimentare (fig. 2.4, d).

Pentru proiectant, schema desfășurată reprezintă totodată punctul de plecare în vederea întocmirii schemelor de montare.

După ce se convine asupra felului în care urmează a se realiza conectica dintre diferitele elemente de circuit sau subansambluri funcționale, stabilindu-se în acest fel o anumită tehnologie de asamblare, se impune ca pe schema desfășurată să se facă precizări în acest sens, precizări care să permită întocmirea în continuare a schemelor de montare.

În primul rând, dacă pentru asamblare s-a hotărât că se va recurge la efectuarea unor conexiuni prin cleme de șir, urmează a se stabili care legături dintre elementele de circuit se vor realiza prin cleme și cum se vor organiza aceste cleme pe șiruri. De asemenea este necesar ca toate clemele să fie reprezentate pe schema desfășurată, simbolul grafic recomandat fiind, în acest caz, sub formă de „X”. Amplasarea simbolului grafic al clemelor se face pe traseul unuia dintre conductoarele care se racordează la cleva res-

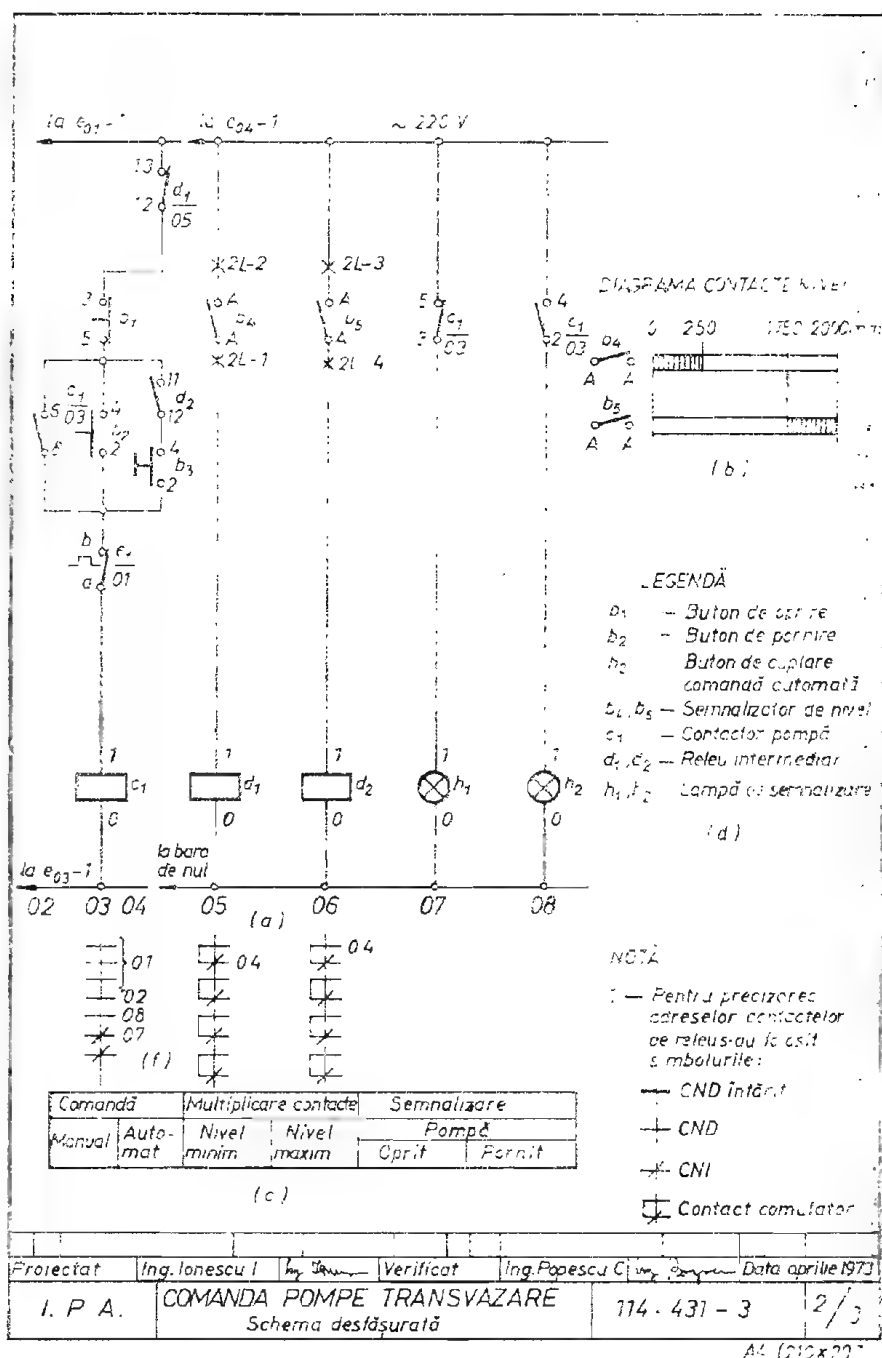


Fig. 2.4. Schema desfășurată pentru comandă pompe de transvazare, marcată după principiul bornelor:

**a** - reprezentarea circuitelor; **b** - diagrame funcționale; **c** - manșeta; **d** - legenda; **e** - indicator de mărime redusă; **f** - ansamblul contactelor [63].

pectivă, astfel încît punctul central al simbolului grafic să se afle pe linia de circuit (fig. 2.4).

În al doilea rînd, trebuie ales un sistem de marcare a conductelor, care va fi folosit pe schemele de montare și stabilită o modalitate de marcare a clemelor, pentru a putea fi identificate cu ușurință. Există trei principii de marcare, prin care se stabilesc concomitent și corelat modalitățile de marcare a conductelor și clemelor, pentru a fi folosite în mod unitar în cadrul întregii documentații desenate aferente unui anumit produs :

- principiul bornelor (și clemelor) ;
- principiul nodurilor ;
- principiul mixt.

În cazul mărcării după principiul bornelor, ilustrat în figura 2.4, conductele electrice nu se marchează pe schema desfășurată. Aceasta înseamnă că pentru conducte nu se definește un sistem de marcare independent de borne, astfel că în schemele de montare se va recurge la un sistem de marcare principal dependent de borne.

Marcarea clemelor se face ținînd seamă de organizarea lor pe șiruri și de poziția acestora în cadrul fiecărui șir. În cadrul unui șir, clemele se numerotează crescător în ordinea montării lor. Marca unei cleme se alcătuiește, în

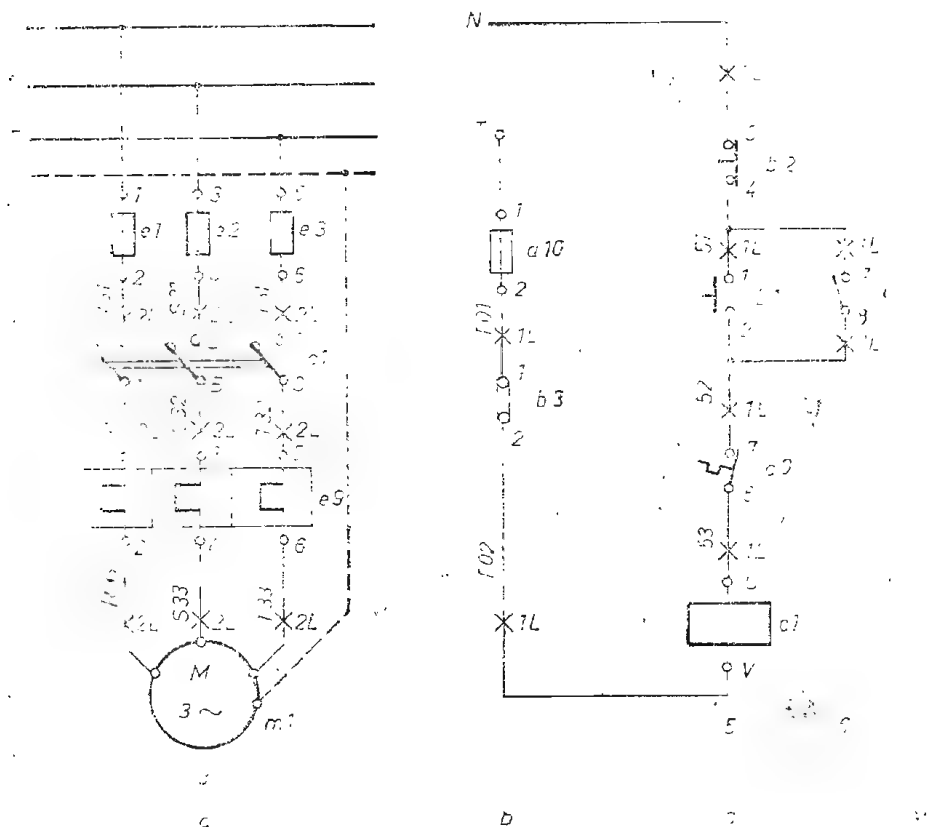


Fig. 2.5 Explicativă pentru marcarea schemelor desfășurate după principiul nodurilor :

a — circuit de forță nr. 3 ; b — circuitul baretei ; c — circuit de comandă.

Conform principiului nodurilor, ilustrat în figura 2.5 pentru trei circuite caracteristice, se marchează mai întâi pe schema desfășurată toate nodurile, înțelegînd printr-un nod conductorul de legătură dintre două borne sau totalitatea conductoarelor legate galvanic nemijlocit. Marca unui nod se alcătuiește din numărul circuitului pe care se află, urmat de numărul de ordine al nodului pe circuitul respectiv. În cazul circuitelor cu mai mult de nouă (9) noduri, numărul nodului pe circuit va fi alcătuit din două (sau mai multe) cifre, numerotarea făcîndu-se în consecință. În circuitele primare (de energie), înaintea cifrelor care alcătuiesc marca nodului se trece o literă mare, indicînd faza la care este legat nodul respectiv (de ex.  $R_{42}$ ,  $W_{023}$ ,  $N_{51}$ , fig. 2.5, *a*). În circuitul baretelor, nenumerotat pe schema desfășurată, înaintea numărului nodului se trece litera mare indicînd faza la care se racordează și cifra zero (fig. 2.5, *b*).

schemele de montare să se facă după sistemul compus.

După principiul nodurilor, clemele se marchează pe schema desfășurată numai cu marca șirului din care face parte (de ex. 1*L*). Acest lucru este suficient, deoarece nu trebuie pierdut din vedere faptul că în fond, clemele, acolo unde sînt folosite, participă la realizarea constructivă a nodurilor din care fac parte, deci la materializarea acestora, astfel încît identificarea lor se poate face precis prin mărcile nodurilor.

Principiul mixt prevede ca pe schema desfășurată să se marcheze nodurile ca la principiul nodurilor și clemele ca la principiul bornelor. Acest principiu de marcarea se recomandă pentru instalațiile de automatizare de mare complexitate. În figura 2.6, se prezintă circuitele schemei desfășurate din figura 2.4, principiul de marcarea utilizat fiind de această dată cel mixt.

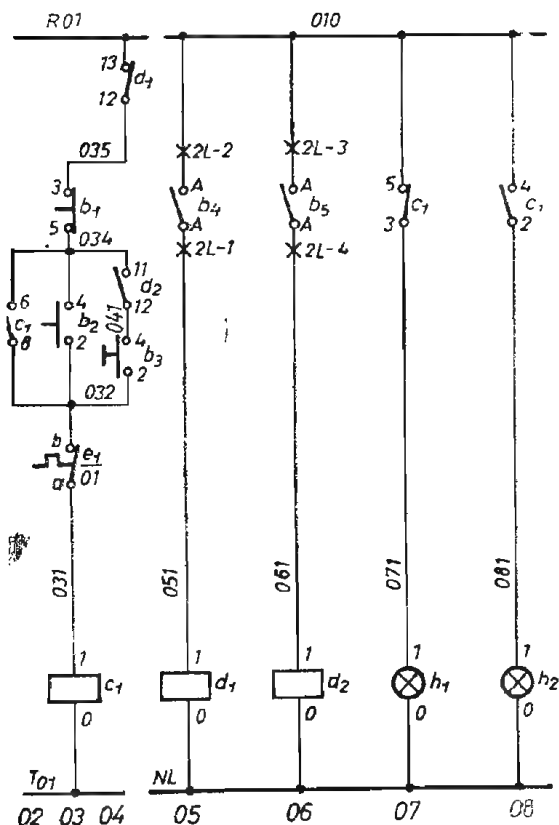


Fig. 2.6. Schemă desfășurată marcată după principiul mixt (sînt reprezentate numai circuitele).



# FATĂ CUTIE (VEDERE DIN SPATE)

$n_2$		
1L-5	0 1	$c_1-2$
$n_2-0$		

$h_1$		
$h_2-0$	0 1	$c_1-3$

$b_2$		
$b_3-2$	2 4	$b_1-5$

$b_3$		
$b_2-2$	2 4	$d_2-12$
$c_1-8$		

$b_1$		
$d_1-12$	3 5	$b_2-4$
		$c_1-6$

## INTERIOR CUTIE

$e_{01}$		
R	0 1	$c_1-R$
1L-1		$d_1-13$

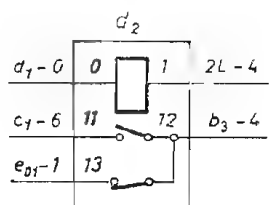
$e_{02}$		
S	0 1	$c_1-S$

$e_{03}$		
T	0 1	$c_1-1$

$e_{04}$		
1L-2	0 1	$2L-2$
		$c_1-5$

$c_1$		
$c_1-T$	0 1	$e_1-a$
$e_{01}-1$	R A	$e_1-R$
$e_{02}-1$	S B	$c_1-S$
$e_{03}-1$	T C	$e_1-T$
$c_1-0$		
$h_2-1$	2 4	$c_1-5$
$b_1-5$		$b_3-2$
$d_2-11$	6 8	$e_1-b$
$h_1-1$	3 5	$c_1-4$
		$e_{04}-1$

$d_1$		
1L-4	0 1	2L-1
$d_2-0$		
	12 10	$b_1-3$
$c_{01}-1$	12	



### NOTĂ

- 1 — Schemă desfășurată 114-431-3.
- 2 — Legătura 1L-S-1L-6 se face numai dacă nu există nul de protecție ( $N_p$ ) izolat
- 3 — Conductor negru  $F_y 15 \text{ mm}^2$  - comandă  
Conductor  $F_y 2,5 \text{ mm}^2$  - forță și punere la nul

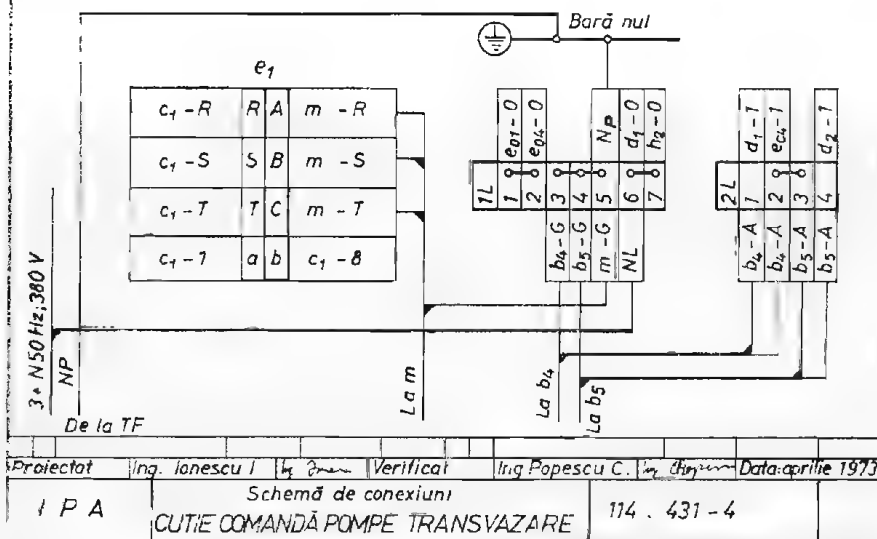


Fig. 2.7. Schema de conexiuni interioare pentru instalația electrică avînd schema desfășurată din figura 2.4, în care s-a utilizat principiul bornelor.

e. *Diagrama funcțională* Așa cum pe schema desfășurată s-au reprezentat diagramele funcționale ale unor aparate din compunerea produsului la a cărui realizare acestea concură, tot așa se poate întocmi o diagramă funcțională pentru produsul însăși.

Diagrama funcțională sau de secvențe a produsului (aparat, echipament, instalație) cuprinde stările sale de funcționare succesive, cu sau fără valori de intervale de timp sau spațiu între acestea, începînd de la o anumită stare inițială pînă cînd se revine din nou în aceeași stare.

Diagrama funcțională se întocmește numai dacă este necesară explicitarea funcționării produsului.

## B. Scheme de montare

a. *Schema de conexiuni interioare* constituie desenul de execuție pentru realizarea legăturilor dintre subansamblurile și aparatele din interiorul unui echipament sau utilaj, inclusiv legăturile care se fac prin șirurile de cleme. În figura 2.7, se prezintă schema de conexiuni interioare pentru instalația electrică avînd schema desfășurată din figura 2.4.

Toate elementele componente ale instalației interioare a echipamentului considerat se reprezintă prin figuri geometrice simple și numai în caz de necesitate se recurge la reprezentarea schemelor lor interioare (de ex. la releul  $d2$ , în fig. 2.7). Se recomandă ca la reprezentarea elementelor componente să se păstreze pozițiile lor relative din interiorul ansamblului, fără a se pune problema respectării unei anumite scări a desenului.

Clemele se reprezintă conform încadrării lor în șirurile de cleme utilizate și se numerează în ordine crescătoare dacă marcarea se face după principiile bornelor (v. fig. 2.7) sau mixt, sau li se atribuie marca nodului din care fac parte, dacă marcarea se face după principiul nodurilor.

Conductele electrice se pot trasa în întregime sau numai prin capetele de legătură de la bornele aparatelor (v. fig. 2.7, la releul  $d2$ ) sau șirurilor de cleme. Se permite ca, în cazul desenării manșoanelor inscripționate (denumite și tile), să nu se mai figureze capetele de legătură.

Marcarea conductelor electrice se face după sistemul dependent de borna opusă, dacă s-a ales marcarea după principiul bornelor sau conform sistemului compus — dacă s-a stabilit a se lucra în baza principiilor nodurilor sau mixt.

Adresa capătului opus se formează în mod concret astfel :

— în sistemul de marcarea după principiul bornelor, adresa este alcătuită din marca aparatului și simbolul bornei la care se leagă capătul opus, cele două simboluri fiind despărțite printr-o liniuță orizontală (de ex.  $c1-2$  sau la cleme  $1L-5$ );

— în sistemele de marcarea după principiile nodurilor sau mixt, adresa este formată din simbolul nodului la care este legat conductorul per simbol aparat-bornă sau șir de cleme, respectiv per simbol aparat sau șir de cleme-număr clemă (de ex.  $52/b1-2$ ,  $T02/1L$  în cazul principiului nodurilor și  $52/b1$ ,  $T02/1L-3$  în cazul principiului mixt).

În tabelul 2.9, se prezintă comparativ modalitățile de marcarea ale conductelor și clemelor pe schemele desfășurate și de conexiuni conform celor

Marcarea conductelor și elementelor pe schemele desfășurate și de conexiuni

Schema	Principiul de marcarea					
	Bornele		Nodurilor		Mixt	
	Conductă	Clemă	Conductă	Clemă	Conductă	Clemă
Desfășurată	— (nu se marchează)	nr. șir L; nr. etichetă ex. 1L—12	Marcă nod: —nr. circuit nr. nod pe circuit ex. 634; —faza nr. circuit nr. nod (la circuitele primare) ex. R31	nr. șir L; (marca șirului de clemă) ex. 1L	Marcă nod (ca la principiul nodurilor) ex. 102, T01	nr. șir L—nr. clemă (ca la principiul bornelor) ex. 21—7
Conexiuni interioare	Sistem dependent de borna opusă: marcă aparat-bornă: marcă șir nr. clemă ex. b4 1, 2L—5	„	Sistem compus: marcă nod/ marcă aparat-bornă (șir clemă) ex. 034/b1—5; 121 2L	Marcă nod ex. 061, NL	Sistem compus: marcă nod/ marcă aparat (marcă șir nr. clemă) ex. 041/d2; 121/21,—1	„

trei principii de marcarea, iar în tabelul 2.10 se exemplifică marcarea conductelor pe schemele de conexiuni interioare, în cazul unui șir de clemă și al unui aparat (releu termic). La șirurile de clemă, s-au reprezentat numai manșoanele inscripționale (tilele), iar la aparate, capetele conductelor (v. tab. 2.10); în cazul aparatelor (relee termice), s-a considerat util să se reprezinte și schemele lor interioare. De observat că, la șirul de clemă marcat după principiul nodurilor (tab. 2.10), s-a procedat la simplificarea adresei capătului conductei, omițându-se intenționat marca nodului; acest lucru este posibil, dar numai la șirul de clemă, având în vedere că marca nodului apare în imediata vecinătate, ca simbol al clemăi respective.

Pe fiecare schemă de conexiuni se trec în mod obligatoriu numerele de desene ale tuturor schemelor desfășurate corespunzătoare. Printr-o notă, se specifică secțiunea și culoarea izolației conductelor electrice (v. fig. 2.7).

b. *Tabelul de conexiuni interioare* cuprinde într-o formă centralizată, tabelară, date complete asupra legăturilor dintre subansamblurile, aparatele și șirurile de clemă din alcătuirea unui echipament.

Pe tabelele de conexiuni interioare se specifică: șirurile de clemă și clemele; simbol aparat-bornă și numărul nodului, în cazul marcării după principiul nodurilor sau mixt. Pe un rând se trec toate conexiunile care fac parte din același nod, în ordinea execuției fizice a legăturilor. Pentru conducte, se indică tipul, secțiunea și eventual culoarea izolației, folosindu-se la nevoie numere cod, introduse printr-o tabelă de componentă [63].

c. *Schema de conexiuni exterioare* reprezintă desenul de execuție pentru realizarea legăturilor dintre diferitele echipamente, utilaje și aparate locale din compunerea instalației. Pe schemele de conexiuni exterioare se

Exemplificarea marcării conductelor și elementelor pe schemele de conexiuni interioare

Principiul de marcare	Șir de clemme	Aparat (releu termic)
Bornelor		
Modurilor		
Mixt		

recomandă să se traseze numai capetele conductelor electrice, pe care se înscrie reperul de identificare independent de borne atribuit conductei (de ex. K1, KC13, KF7), precum și adresa capetelor fiecărei conducte. Se menționează, de asemenea, tipul și lungimea conductelor.

d. *Tabelul de conexiuni exterioare* cuprinde aceleași legături ca și schema de conexiuni interioare, dar sub formă tabelară, similar cu tabelele de conexiuni interioare. Se întocmesc fie scheme, fie tabele de conexiuni exterioare.

Conexiunile interioare și exterioare pot fi reunite pe un tabel de conexiuni unic care să cuprindă datele necesare efectuării tuturor legăturilor; un exemplu în acest sens poate fi consultat în [63].

## C. Planuri de montare

a. *Planurile de montare* a aparaturii pe echipamente sînt desene de execuție cu specific mecanic, urmînd a se întocmi conform standardelor în vigoare. O particularitate a acestora o constituie modul de reprezentare și identificare a aparatelor electrice. Acestea se reprezintă numai prin conturul lor, folosind în general linii îngroșate și se identifică prin mărcile atribuite în restul documentației; aparatele electrice nu se trec în ta-

bela de componență a ansamblului, ele putînd fi menționate într-o legendă.

b. *Schemele sinoptice* sînt reproduceri simplificate ale schemelor tehnologice pe panourile frontale ale echipamentelor și utilajelor.

Tabelele cu texte de etichete, necesare identificării aparatelor de pe panourile frontale, trebuie să cuprindă: numărul etichetei sau simbolul aparatului pe care îl însoțește, textul, dimensiunile, culoarea fondului și a inscripției și înălțimea literelor mari.

Alte elemente care pot fi necesare executării echipamentului pot fi, de asemenea, cu specific mecanic: decupări pentru aparate și reprezentări ale unor componente mecanice netipizate.

c. *Schemele de amplasamente și trasee* cuprind amplasamentele echipamentelor și aparatelor locale ale instalației electrice precum și traseele legăturilor prin conducte dintre ele, figurate pe planurile instalației tehnologice.

Pentru conducte, trebuie să se indice modul de poziționare, iar în cazul unui număr mare de cabluri, să se dea detalii de organizare a traseelor lor.

Dintre piesele desenate întocmite pentru instalațiile electrice industriale, care se încadrează în categoria schemelor de amplasamente și trasee, se menționează cele consacrate sub denumirile de planul instalației de forță și planul instalației de iluminat.

Planul instalației de forță se întocmește de obicei la scara 1:100 sau 1:50, utilizînd pentru conducte, echipamente sau utilaje simboluri standardizate sau convenite (printr-o legendă). Planul cuprinde: principalele elemente ale construcțiilor (pereți, stîlpi, uși etc.); pozițiile utilajelor cu indicarea puterilor nominale ale acestora; amplasarea posturilor de transformare și a tablourilor de distribuție, care se notează prin simboluri (*PT1*, *TG*, *TP1*, *TS1-2* etc.), indicîndu-se totodată puterea și curentul cerut; traseele coloanelor, care se marchează prin indicative (*M1*, *M2* etc.) pentru a fi mai ușor reperate și traseele circuitelor; traseele instalațiilor de protecție contra tensiunilor accidentale (centura de legare la priza de pămînt de protecție); aparatele de comutație amplasate în afara tablourilor de distribuție.

Pentru conducte se indică de asemenea: tipul conductei sau cablului, numărul de conductoare și secțiunea (cu referire și la jurnalul de cabluri și conducte), diametrul și tipul tubului de protecție, modul de amplasare (apaient, îngropat etc.).

În figura 2.8 se exemplifică modul de întocmire a planului instalației de forță.

Planul instalației de iluminat cuprinde în principiu aceleași elemente ca și planul instalației de forță. Se recomandă ca pentru corpurile de iluminat să se indice numărul de corpuri, tipul (eventual și codul conform indicatorului de deviz), numărul și puterea lămpilor care se montează în corp, înălțimea de amplasare, marca întreruptorului sau aparatului pe circuitul cărui este montat și faza la care se racordează. În afară de denumirea încăperii, este bine să se indice pe plan nivelul mediu al iluminării și încadrarea încăperii din punct de vedere al caracteristicilor mediului.

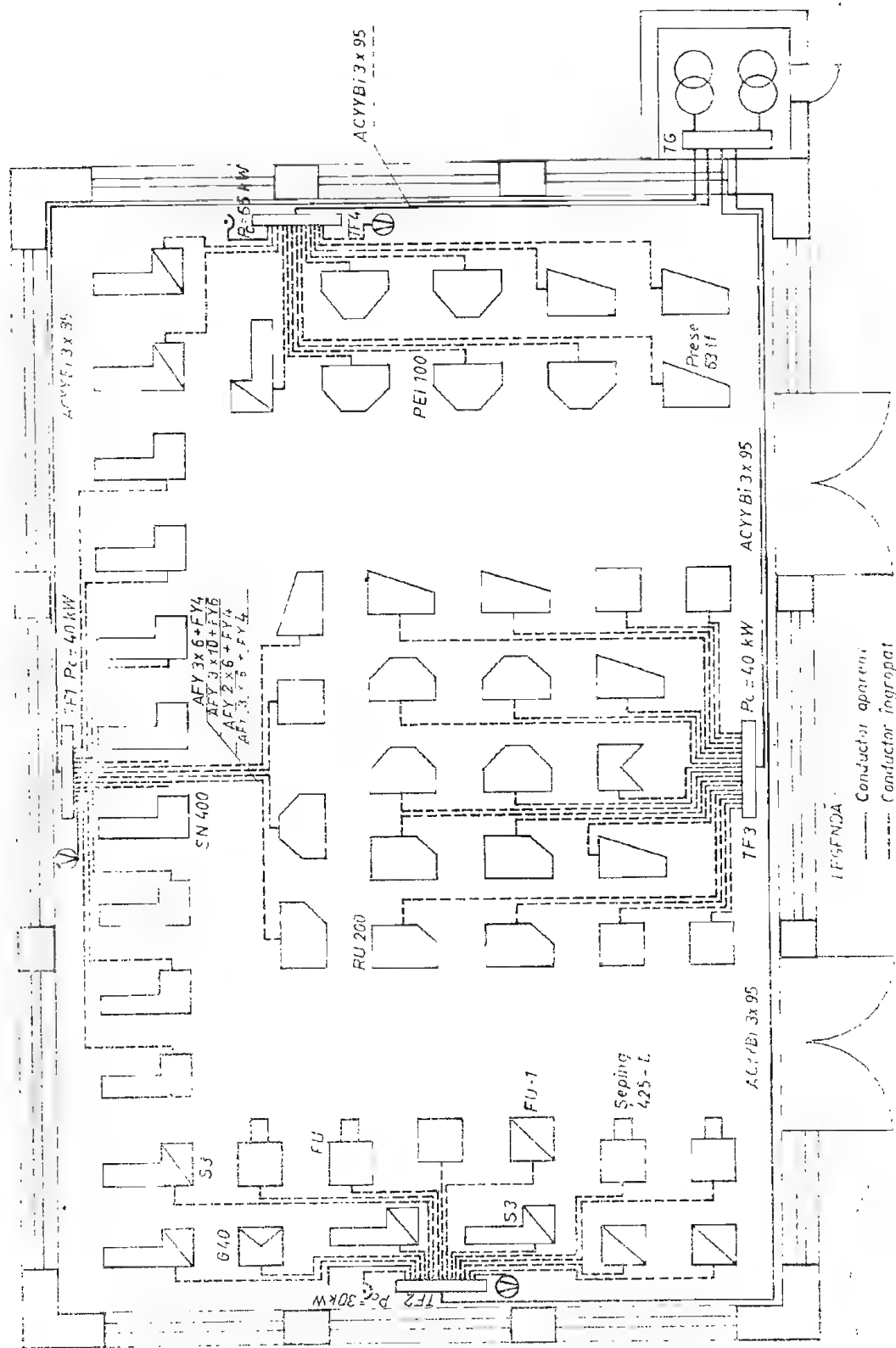


Fig. 2.8. Planul (schema de amplasamente și trasee a) instalației de forță — exemplu.



Tabelul 2.11

**Formularul specificațiilor de echipamente, de agregate și aparate locale și de aparate pe echipament**

Nr. crt.	Simbol	Denumirea	Caracteristici tehnice	Tip-cod	Furnizor	Bucați	Observații
(10)	(30)	(50)	(50)	(30)	(30)	(10)	(60)

b. *Specificația de agregate și aparate locale* cuprinde totalitatea agregatelor și aparatelor care nu sînt montate pe echipamentele electrice. Se întocmește ca și specificația de echipamente, existînd recomandarea de a se defalca pe pagini separate aparatele-utilaj, aparatele-material, aparatele din țară și aparatele din import.

c. *Specificația de aparate pe echipament* trebuie să cuprindă caracteristicile aparatelor, tipul și numărul clemelor de șir, al regletelor, precum și tipurile și lungimile totale ale conductelor folosite pentru conexiunile interioare. Se folosește același formular, prezentat în tabelul 2.11.

d. *Fișa tehnică* se întocmește pe tip de aparat și conține toate caracteristicile tehnice necesare procurării și utilizării lui. Se redactează fișe tehnice numai pentru aparatele cu caracteristici speciale, ale căror parametri tehnici nu pot fi cuprinși în mod convenabil, în rubrica de „caracteristici tehnice” din specificație.

e. *Jurnalul de cabluri și conducte* reprezintă o listă a conexiunilor exterioare, dintre echipamente, aparatura locală și utilaje tehnologice, realizate cu conducte electrice, inclusiv cabluri.

Tabelul 2.12

**Jurnal de cabluri și conducte (model)**

Nr. crt.	Marca	Plecă de la	Sosește la	Tip și dimensiune	Lungimea, m	Nr. de fire		Observații
						Ocupate	Libere	
(10)	(30)	(50)	(50)	(40)	(30)	(17,5)	(17,5)	(25)
1	T—Dal	Tabloul forță T	Dulap aparate D, întreruptor al	3AFY 10 + — FY 2,5 IPE 29	10	4	—	(Mod de montare)

Forma și conținutul recomandat pentru jurnalul de cabluri și conducte sînt prezentate în tabelul 2.12; în capul de tabel, între paranteze, sînt indicate dimensiunile rubricilor.

Cablurile se defalcă pe pagini separate de restul conductelor. Pentru indicatorul de utilizat se consultă [63].



### Capitolul 3

## INSTALAȚII ELECTRICE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Întreprinderile industriale sînt alimentate din rețelele sistemului energetic, la tensiuni cît mai înalte, în funcție de puterea cerută care poate atinge valori de sute de megawați. Alegerea tensiunii optime se face prin compararea tehnico-economică a tuturor variantelor raționale, care pot fi adoptate (v. tab. 3.1).

Instalația electrică de înaltă tensiune a unei întreprinderi industriale se compune din următoarele părți, avînd funcționalități distincte:

- *instalația de racordare la sistemul energetic* (racordul), reprezentînd liniile electrice care fac legătura între rețeaua sistemului energetic și stația de distribuție sau transformare a întreprinderii (stația de primire);

- *instalația de distribuție* în medie tensiune la consumatorii de pe teritoriul întreprinderii, reprezentînd totalitatea rețelelor care leagă posturile de transformare și receptoarele de înaltă tensiune la barele stației de distribuție sau transformare.

Determinarea structurii rețelei și alegerea numărului și amplasamentului stațiilor de primire a consumatorilor se va face ținînd seama de:

- *situația energetică existentă* în zona respectivă, de perspectiva de dezvoltare a regiunii pentru următorii 10—15 ani;

- *importanța consumatorului*, caracterizată prin clasa acestuia (cu indicarea perspectivei de dezvoltare pentru următorii 5—10 ani);

- *siguranța în alimentare*; sistemul de alimentare al consumatorului va trebui să asigure obligatoriu o alimentare de bază corespunzătoare puterii maxime absorbite; de asemenea sistemul va asigura, facultativ, o alimentare de rezervă conform nivelului de rezervare, aleasă printr-o analiză tehnico-economică;

- *concepția unitară și elasticitatea* în exploatare a schemei.

### 3.1. INSTALAȚIA DE RACORDARE LA SISTEMUL ENERGETIC

Clasificarea instalațiilor de racordare se face după numărul de linii prin care se realizează racordarea și după configurația rețelei la capătul dinspre consumator al racordului.

După numărul de linii, racordul poate fi:

- cu o linie;
- cu două linii.

După configurația rețelei la capătul dinspre consumator al racordului, acesta poate fi:

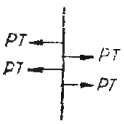
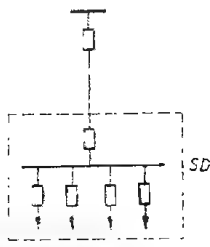
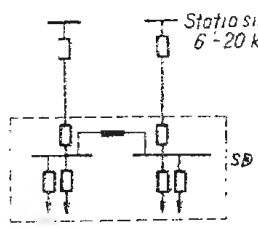
- cu *PT* (fără *SD*, în medie tensiune);
- cu *SD* (racord în medie tensiune);
- cu *ST* (racord în înaltă tensiune, denumit racord adânc).

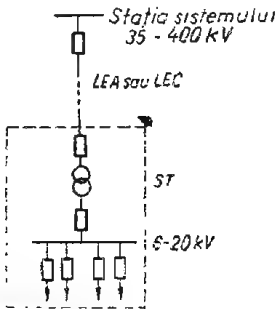
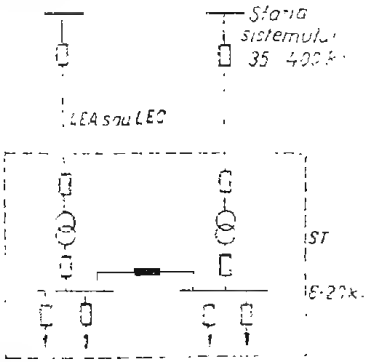
În general se recomandă executarea racordurilor la tensiuni cât mai înalte, cu pătrunderea adâncă a acestora spre centrul de greutate al sarcinilor.

În tabelul 3.1 sint prezentate schemele instalațiilor de racordare la sistemul energetic.

Tabelul 3.1

Schemele instalațiilor de racordare la sistemul energetic

Schema de racordare	Domeniul de utilizare
<p>1 — Cu o singură linie de alimentare, fără stație de distribuție</p> <p>Stația sistemului 6–20 kV</p> 	<p>— Alimentarea consumatorilor din categoria III și uneori II</p>
<p>2 — Cu o singură linie de alimentare și stație de distribuție la consumator</p> <p>Stația sistemului 6–20 kV</p> 	<p>— Alimentarea consumatorilor din categoria III și II</p>
<p>3 — Cu două linii de alimentare și stație de distribuție</p> <p>Stația sistemului 6–20 kV</p> 	<p>— Alimentarea consumatorilor din categoria I și II</p>

Schema de racordare	Domeniul de utilizare
<p>4 — Cu o singură linie de alimentare și stație de transformare — racord adinc.</p> 	<p>— Alimentarea consumatorilor din categoria III și parțial II.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— racordul adinc prezintă următoarele avantaje;</li> <li>— mărirea siguranței în alimentare;</li> <li>— micșorarea curenților de lucru sau de scurtcircuit;</li> <li>— simplificarea schemelor de comutație primară (se utilizează siguranțe fuzibile de IT);</li> <li>— simplificarea reglajului tensiunii;</li> <li>— elasticitatea în racordarea noilor consumatori.</li> </ul>
<p>5 — Cu două linii de alimentare și stații de transformare — schema în H.</p> 	<p>— Alimentarea consumatorilor din categoria I și parțial II.</p>

### 3.2. STAȚII DE TRANSFORMARE

Sînt puncte de alimentare cu energie electrică de la înaltă sau foarte înaltă tensiune la medie tensiune. Reprezintă elementul de legătură dintre instalația de racordare la sistem și instalația de distribuție în înaltă tensiune.

Din punct de vedere al amplasării, stațiile de transformare pot fi de tip exterior sau interior.

Soluția constructivă, în general, este determinată de tipul constructiv al separatoarelor și al întreruptoarelor, de tipul și modul de montare al unităților de transformatoare, de particularitățile de amplasare în zonă (caracteristicile terenului).

Funcțional, la orice stație de transformare se disting:

- circuite primare;
- circuite secundare;
- servicii proprii;
- instalații auxiliare.

### 3.2.1. SCHEME DE CONEXIUNI ALE CIRCUITELOR PRIMARE ȘI SOLUȚII CONSTRUCTIVE

Alegerea schemei de conexiuni și a soluției constructive se face pe baza următoarelor elemente:

- funcția stației;
- încadrarea în sistemul energetic;
- categoria consumatorilor;
- siguranța în funcționare;
- numărul circuitelor racordate;
- elasticitatea în exploatare;
- simplitatea schemelor de protecție și de automatizare;
- sistemul de exploatare al stației (cu personal permanent, cu personal la domiciliu, cu alarmare la un centru de exploatare prin telecomandă).

La alegerea schemei de conexiuni a stațiilor se va ține seama de perspectiva dezvoltării consumatorilor pe o perioadă de 5 ani, considerată de la intrarea în funcțiune a primei etape a stației și vor fi verificate condițiile de încadrare în sistem pe o perioadă de 10 ani.

Schema de conexiuni trebuie să fie cât mai simplă, în vederea obținerii unei eficiențe economice sporite, a unei exploatare simple și a respectării normelor de protecție a muncii.

Schemele de conexiuni ale circuitelor primare se încadrează într-o serie de scheme tip fundamentale indicate în tabelul 3.2, care pot fi împărțite în două mari categorii:

- cu bare colectoare;
- fără bare colectoare.

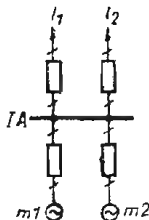
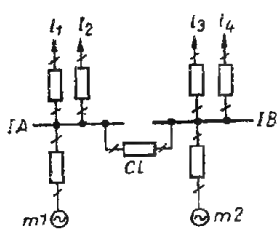
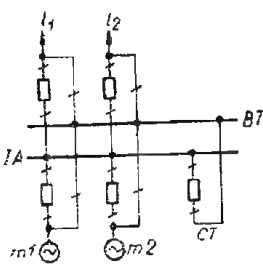
Schemele cu bare colectoare pot avea bare simple sau bare duble, secționate sau nesectionate. Schemele fără bare colectoare se încadrează în categoria schemelor bloc.

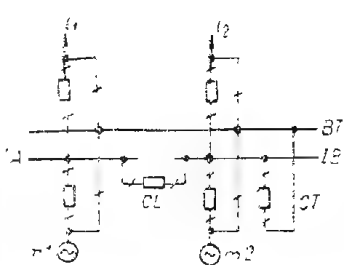
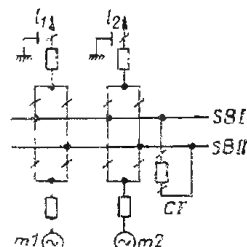
Realizarea schemei de conexiuni propuse se face prin combinarea judicioasă a schemelor tip fundamentale.

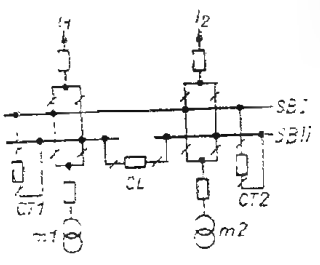
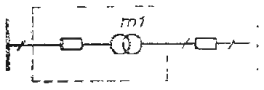
În cadrul schemelor de conexiuni, se va prevedea secționarea longitudinală a unui sistem de bare colectoare în stațiile cu două sisteme de bare în următoarele cazuri [45]:

- stații de 110 kV cu un număr mai mare de 14 circuite racordate;
- stații de 110 sau 220 kV cu un număr mai mic de 14 circuite racordate, dacă este necesară secționarea rețelei pentru optimizarea circulației puterilor în scopul limitării curenților de scurtcircuit, al separării consumatorilor care produc șocuri de putere în rețele sau care sînt influențați în mod deosebit de variațiile de tensiune din rețea, al limitării consecințelor extinderii avariilor la bare, al realizării unor scheme speciale de automatizare etc.

Schemele de conexiuni ale circuitelor primare

Nr. crt.	Denumirea schemei	Schița schemei	Caracteristicile schemei
1	2	3	4
1	Cu bară colectoare simplă nesectionată		<p><i>Avantaje :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— număr minim de aparate de comutație;</li> <li>— investiții reduse.</li> </ul> <p><i>Dezavantaje :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— siguranță redusă în funcționare; orice avarie sau revizie la bare sau separatoarele de bară conduce la întreruperea totală.</li> </ul> <p><i>Utilizare :</i> la alimentarea consumatorilor de importanță redusă sau alimentați pe mai multe cîi.</p>
2	Cu bară colectoare simplă sectionată		<p><i>Avantaje :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— siguranță mărită în funcționare; fiecare secție de bară este practic independentă;</li> <li>— reducerea curenților de scurtcircuit prin montarea pe cupla longitudinală CL a bobinelor de reactanță.</li> </ul> <p><i>Dezavantaje :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— imposibilitatea efectuării reviziei la orice întreruptor fără întreruperea circuitului.</li> </ul> <p><i>Utilizare :</i> la consumatori importanți.</p>
3	Cu bară colectoare simplă nesectionată și bară de transfer		<p><i>Avantaje :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— număr redus de aparate de comutație;</li> <li>— posibilitatea de a scoate în revizie întreruptoarele fără întreruperea circuitului;</li> <li>— reducerea duratei întreruperii în cazul avarierii unui întreruptor.</li> </ul> <p><i>Utilizare :</i> la stații de transformare coboritoare de importanță curentă.</p>

1	2	3	4
4	Cu bară colec- toare simplă cu două secții lon- gitudinale și bară de trans- fer		<p>— siguranță mărită în funcționare;</p> <p>— posibilitatea de a scoate în revizie întreprinderile fără întreruperea circuitului;</p> <p>— reducerea duratei întreruperii în cazul avariei unui întrerupător.</p> <p><i>Utilizare:</i> la stații de transformare de importanță curentă până la 110 kV și mai mult.</p>
5	Cu bare colec- toare duble nesecționate		<p>— barele duble măresc apreciabil siguranța în funcționare; distribuția celulelor pe cele două sisteme de bare este elastică, modificabilă prin simple manevre de separatoare, fără întreruperi;</p> <p>— funcționarea se face numai pe un sistem de bare cu CT deschisă;</p> <p>— posibilitatea de efectuare a reviziilor la barele colectoare sau separatoarele de bară numai cu scoaterea de sub tensiune a sistemului respectiv; toate celulele, cu excepția celei care se revizuieste, rămân sub tensiune.</p> <p><i>Dezavantaje:</i></p> <p>— cheltuieli de investiții mai ridicate (cu 20—40% mai ridicate decât schemele echivalente cu bară colectoare simplă);</p> <p>— comutația primară mai complicată, necesitatea blocajelor automate la separatoare;</p> <p>— un defect al întrerupătorului de pe cupla transversală scoate instalația de sub tensiune.</p> <p><i>Utilizare:</i> la stații de transformare cu consum mai important.</p>

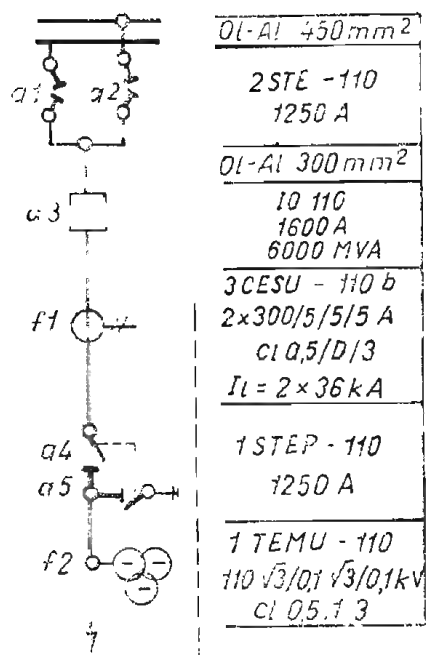
1	2	3	
6	Cu bare colectoare duble cu două secții longitudinale		<p><i>Avantaje :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— siguranță mărită în funcționare; secțiile de bare sînt practic independente;</li> <li>— reducerea curenților de scurtcircuit prin montarea pe cupla longitudinală (CL) a bobinelor de reactanță;</li> <li>— funcționarea se face pe bara de lucru (bara secționată longitudinal prin cuplă).</li> </ul> <p><i>Utilizare :</i> la stații de transformare importante de 110 kV și mai mult.</p>
7	Schemă bloc transformator ridicător-linie		<p><i>Avantaje :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— număr minim de aparate;</li> <li>— investiții reduse.</li> </ul> <p><i>Dezavantaje :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— siguranță redusă; dificultăți în realizarea protecției prin relee împotriva defectelor interne în transformator;</li> <li>— obligația ca numărul transformatoarelor să fie egal cu numărul de linii.</li> </ul> <p><i>Utilizare :</i> instalații cu caracter provizoriu sau etapă inițială a unei stații de transformare.</p>

Funcțional, soluția constructivă este realizată printr-o structură celulară (fig. 3.1) conținînd:

- celule de linie (fig. 3.2);
- celule de transformator (fig. 3.3);
- celule de cuplă (fig. 3.4);
- celule de măsură și descărcătoare (fig. 3.5);
- celule de rezervă.

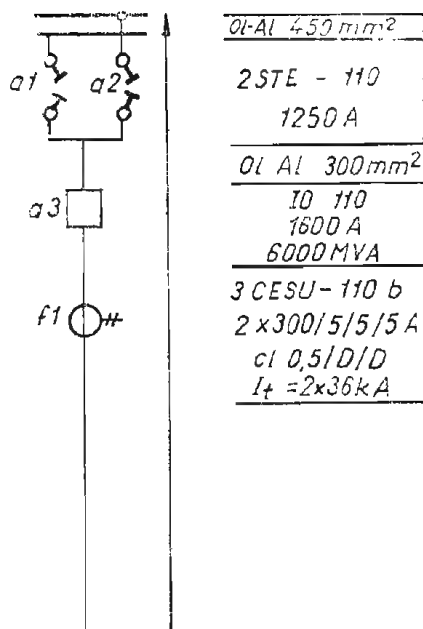






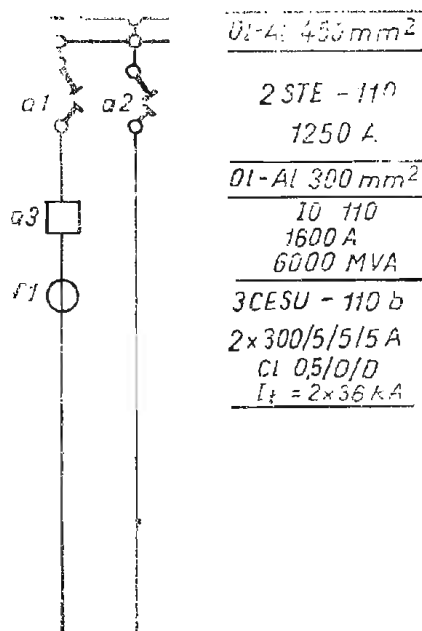
LINIE

Fig. 3.2. Schema circuitelor primare -- celulă de linie



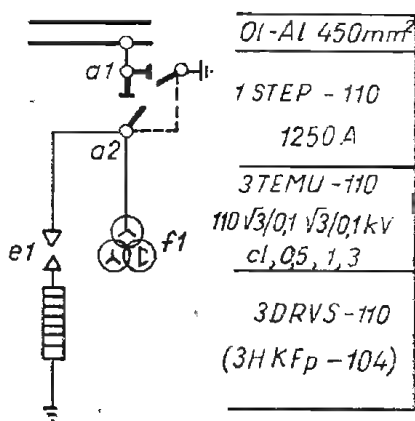
TRANSFORMATOR

Fig. 3.3. Schema circuitelor primare -- celulă de transformare.



CUPLĂ

Fig. 3.4. Schema circuitelor primare -- celulă de cuplă.



MĂSURĂ-DESCĂRCĂTOR 1

Fig. 3.5. Schema circuitelor primare -- celulă de măsură.

### 3.2.2. CIRCUITE SECUNDARE

*Circuitele secundare* realizează funcțiunile de comandă, control, protecție și automatizare în vederea funcționării ireproșabile a circuitelor primare.

*Comanda* se referă în special la acționarea voită și blocajul operativ al separatoarelor și întreruptoarelor. *Controlul* realizează măsurarea și înregistrarea mărimilor electrice, precum și semnalizarea regimurilor normale sau de avarii în funcționarea stației. *Protecția* se referă la acționarea întreruptoarelor în regimuri de avarie, iar *automatizarea* la asigurarea continuității în alimentare și a nivelului calitativ al energiei furnizate.

În tabelul 3.3 se indică aparatele de măsură pe diverse circuite [30], iar în paragraful 3.10 — protecțiile aferente circuitelor, precum și diverse instalații de automatizare. Circuitele de comandă și semnalizare sint prezentate în capitolul 8.

Din punct de vedere constructiv se disting:

- circuite secundare complet centralizate într-una sau mai multe camere; soluția este posibilă atunci când există personal de exploatare permanent;

- circuite secundare parțial descentralizate;

- circuite secundare descentralizate; soluția se aplică la instalațiile fără personal permanent.

Din punct de vedere al concepției de realizare a circuitelor secundare se disting:

- circuite individuale, unde fiecare circuit primar are propriile sale circuite secundare;

- circuite cu preselecție sau cu alegere, în care se folosește un număr foarte redus de aparate de comandă și măsură, care pot fi conectate după dorință în diversele puncte ale instalației.

Detalii asupra circuitelor secundare se obțin din lucrările [21, 48].

### 3.2.3. SERVICII PROPRII

Prin *servicii proprii* se înțeleg dispozitivele și instalațiile care asigură funcționarea normală a echipamentelor din stațiile electrice.

Serviciile proprii comportă următoarele forme de energie: curent alternativ (de regulă la joasă tensiune), curent continuu, aer comprimat și ulei sub presiune.

Schema de servicii proprii cuprinde:

- *bara de alimentare normală* (de rețea) 380/220 V, alimentată prin două căi din rețeaua de joasă sau medie tensiune; la această bară se conectează circuitele consumatorilor secundari și auxiliari;

- *bara de siguranță* (asigurată) — 380/220 V, alimentată în mod normal de la o bară de rețea, iar în caz de avarie a acesteia, de la un grup Diesel cu pornire automată care permite realimentarea în circa 10 secunde; la această bară se conectează circuitele consumatorilor principali;

- *bara de curent continuu* 220 sau 110 V cu alimentarea normală de la unul sau două redresoare (sau grup convertizor rotativ) și de la o lăcherie de acumulare; la avarie în sistemul de curent alternativ

Tabelul 3.3

## Aparatele de măsurat minime necesare pe diverse circuite

Schimbarea circuitului princ.	Tens. kV	Aparate necesare				Observații		
		Indicatoare	Inregistratoare	Contoare				
	10-400	(A) (W) var	W-var	Wh	varh	Wh	varh	*Eventual pe 6-20 kV în loc de 35 kV
	35	(A) (A) (var)*	W-var	Wh	varh	Wh	varh	
	6-20	(A)		Wh	varh	Wh	varh	
	10-400	(A) (W) var	W-var	Wh	varh			*Pe partea primară a transfor- matorului de servicii locale
	6-20*	(A) (A) var	W-var	Wh	varh			
	3	(A)						
	10-20	(A) (A) (A) (V) (W) (var) (A) (V)	W-var	Wh	varh			
	3	(A)		Wh				
	10	(A) (A) (A) (V)						
	35-400	(A) (W) var (V)	W-var	Wh	varh	Wh	varh	*Eventual lampă de semnalizare
	3-20	(A)		Wh	varh			
	3	(A)		Wh				
	10-400	(A)						
	35-20	(A)						
	3	(A)						
	10-400	(A) (W) var	W-var	Wh	varh	Wh	varh	
	35-20	(A)						
	3	(A)						
Pentru colectoare	10-400	(V) (f) (f*)	(f)* (f*)					*Număr la centrale sau la stații importante
	3-20	(V) (f) (f*) (Va) (var) (Vn)	(f)* (f*)					
	35							
	35							
	10-400	(A)						
	10-400	(A)						
	10-400	(A)						

bateria preia întreaga sarcină; la această bară se conectează circuitele consumatorilor vitali.

Detalii asupra serviciilor proprii sînt date în [30].

### 3.2.4. INSTALAȚII AUXILIARE

*Instalațiile auxiliare* cuprind: instalațiile de curent continuu, instalațiile de legare la pămînt, instalațiile de ulei și aer comprimat, instalațiile de telecomunicații.

Instalațiile de curent continuu se folosesc pentru alimentarea circuitelor secundare la tensiunile uzuale de 24, 48, 110 și 220 V. Sursele de curent continuu sînt baterii de acumulatori și redresoare.

Instalațiile de legare la pămînt realizează:

- protecția împotriva electrocutării;
- trecerea în pămînt a curenților electrici ce apar în cazul legăturilor la pămînt de exploatare a unor instalații aflate în mod normal sub tensiune (bobine de stingere, neutrul transformatoarelor etc.).

Instalațiile de ulei și aer comprimat se folosesc pentru acționarea și stingerea arcului întreruptoarelor și separatoarelor. Alimentarea cu energie electrică a instalațiilor de producere a aerului comprimat trebuie să fie asigurată pe două căi separate de la două secții independente ale instalației de servicii proprii.

Instalațiile de telecomunicații cuprind: instalațiile de telefonie generală (administrativă), instalațiile de telefonie tehnologică (de dispecer), instalațiile de iuterion (comunicări operative, conferințe), instalațiile telegrafice sau telex, instalațiile de ceasoficare (cunoașterea orei exacte), instalațiile de detectare și semnalizare a incendiilor.

### 3.2.5. ALEGEREA NUMĂRULUI ȘI A PUTERII TRANSFORMATOARELOR

În stațiile de transformare se folosesc de obicei două sau trei transformatoare trifazate de putere cu două sau trei înfășurări. Instalarea unui număr mai mare de trei transformatoare într-o stație nu se justifică din punct de vedere economic.

În toate cazurile, în care stațiile alimentează întreprinderi industriale mari, sau zone cu mare consum de energie electrică, este necesar să se prevadă o rezervă corespunzătoare în transformatoare. În astfel de cazuri se vor monta cel puțin două transformatoare identice (unul avînd rolul de rezervă), cu condiția ca puterea fiecăruia (ținînd seama de supra-sarcina admisibilă), să fie cel puțin egală cu sarcina totală a consumatorilor.

În cazul variantei cu trei transformatoare, două vor trebui să asigure alimentarea consumatorilor, iar cel de-al treilea va constitui rezerva. Alegerea uneia dintre cele două variante se face pe baza unui calcul tehnico-economic în care este necesar să se țină seama de criteriul cheltuielilor minime de exploatare, respectiv al pierderilor anuale minime de energie.

Pentru reducerea curenților de scurtcircuit și simplificarea protecției prin relee se recomandă ca, de câte ori este posibil, să se prevadă funcționarea separată a transformatoarelor.

### 3.2.6. FUNCȚIONAREA ECONOMICĂ A TRANSFORMATOARELOR

În stațiile sau posturile de transformare cu mai multe transformatoare nu este totdeauna economic ca toate transformatoarele să funcționeze în paralel, precum nu este totdeauna indicat să lucreze unul singur, chiar dacă sarcina nu depășește puterea sa nominală.

Regimul optim din punct de vedere economic este acela în care pierderile totale de putere sînt minime (fig. 3.6).

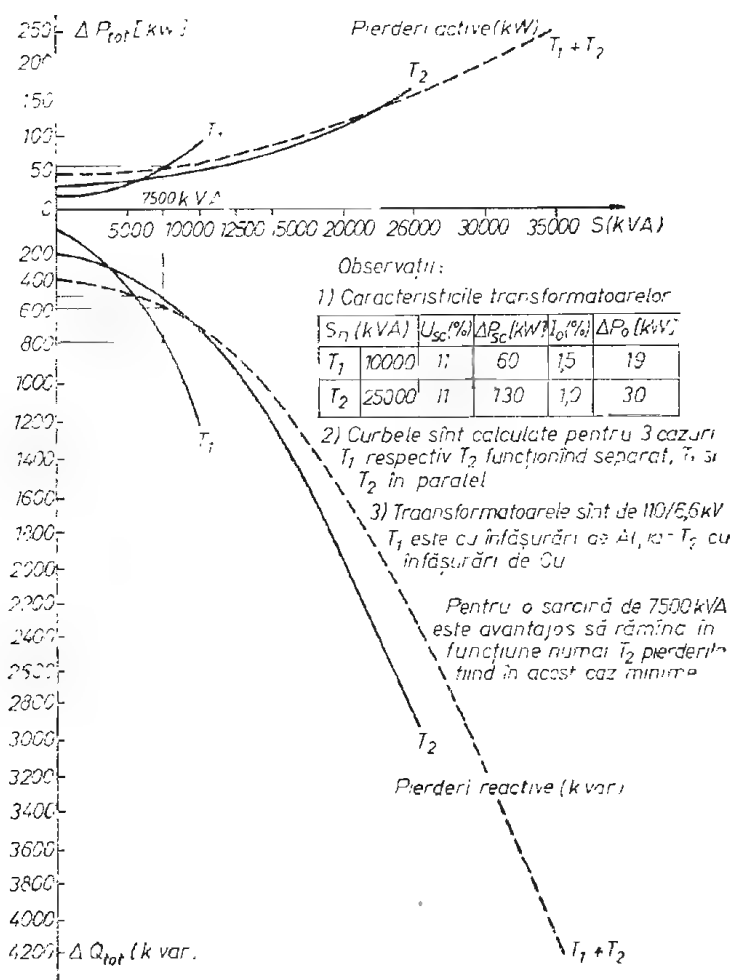


Fig. 3.6. Curbe de variație a pierderilor de putere în transformatoare în funcție de sarcină.

### 3.3. INSTALAȚIA DE DISTRIBUȚIE

Rețelele de distribuție în medie tensiune la posturile de transformare sau receptoarele de medie tensiune se realizează cu linii radiale sau linii principale.

Alegerea uneia dintre aceste două variante se face în funcție de gradul dorit de asigurare a continuității alimentării, de amplasarea teritorială a sarcinilor principale și pe baza comparării indicatorilor tehnico-economici ai variantelor propuse.

Linii radiale alimentează separat fiecare receptor de înaltă tensiune sau post de transformare (tab. 3.4, pct. A). Avantajele schemelor cu linii radiale sînt:


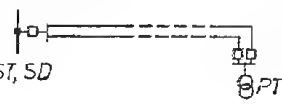
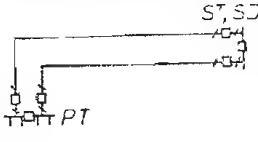
- simplitatea din punct de vedere al execuției și al exploatarei;
- siguranța alimentării cu energie electrică în cazul avariilor;
- posibilitatea automatizării și comenzii centralizate.

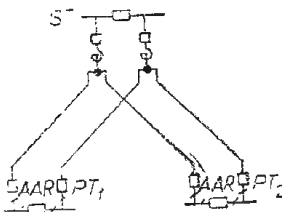
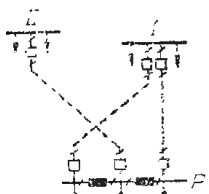
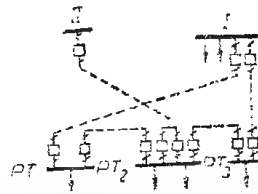
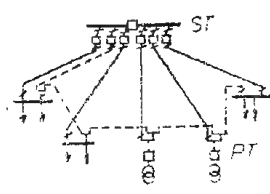
Dezavantajele acestor scheme sînt:

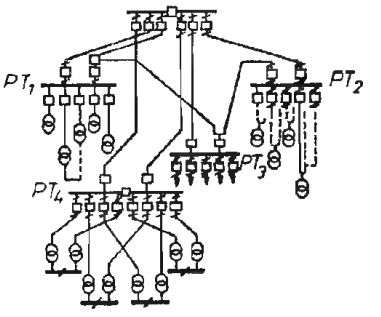
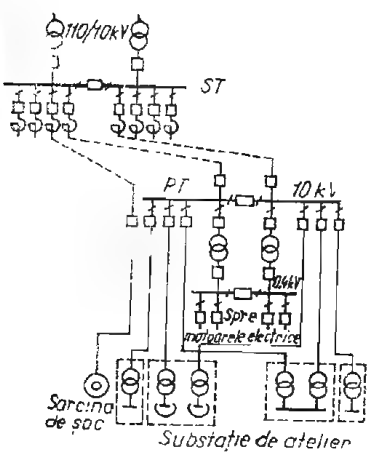
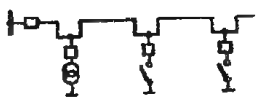
- consumul ridicat de materiale neferoase;
- investiții importante la construirea rețelei.

Tabelul 3.4

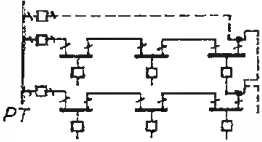
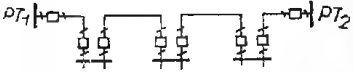
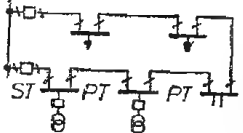
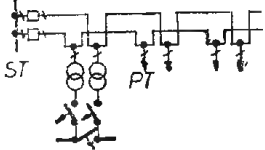
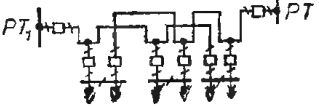
Schemele rețelilor de distribuție în medie tensiune [17]

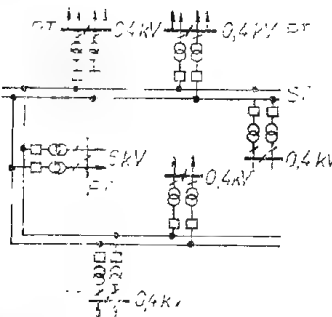
Tipul schemei	Domeniul de folosire și caracteristicile schemei
1	2
<p>1. Radială, simplă (fără rezervă)</p> 	<p>A. Scheme radiale</p> <p>Pentru posturile de transformare cu o singură unitate, situate izolat și în cazul cînd lipsesc sarcini importante de categoria I și există posibilitatea reparării rapide a liniilor defecte, cu condiția ca sarcinile reduse de categoria I (pînă la 25%) să fie asigurate printr-o alimentare de joasă tensiune, de la un post vecin sau printr-un grup electrogen de intervenție.</p>
<p>2. Radială, simplă cu două cabluri în paralel</p> 	<p>Pentru consumatori nu prea mari izolați, în cazul cînd nu există sarcini de categoria I: se folosește normal un singur cablu, iar al doilea se conectează cînd primul s-a deconectat pentru reparație sau înlocuire. Pot fi folosite cînd există sarcini reduse de categoria I (cel mult 25%), dacă continuitatea de alimentare a acestora este asigurată fie printr-un record de joasă tensiune de la o rețea vecină, fie printr-un grup electrogen de intervenție.</p>
<p>3. Cu două linii radiale (dubla)</p> 	<p>Pentru puncte de alimentare speciale și importante sau pentru obiective cu sarcini de categoria I și II (posturi cu puterea peste 2 000—3 000 kVA, captoare electrice mari etc.), fiecare linie se calculează la întreaga sarcină a receptoarelor de categoria I. În mod normal, liniile funcționează separat pe secțiunile respective: la ieșirea din funcțiune a unei linii, cealaltă preia sarcina de categoria I.</p>

1	2
<p>4. Încrucișată cu câte un singur întrerupător și câte o bobină de reacțență comună pe câte două linii</p> 	<p>Este o variantă a schemei precedente pentru liniile de putere mijlocie; se reduce numărul de celule la punctul de alimentare. La post se prevede conectarea automată a rezervei pentru a preveni deficiența schemei constând în faptul că, la defectarea uneia dintre linii, se întrerupe și alimentarea din a doua linie care nu este defectă.</p>
<p>5. Încrucișată cu alimentare din două puncte</p> 	<p>Pentru posturi de transformare puternice (8 500—10 000 kVA). Fiecare linie de alimentare este calculată pentru 60% din sarcina postului.</p>
<p>6. Radială încrucișată cu rezervă radială de la al doilea punct</p> 	<p>Pentru posturi de transformare de putere mică. Alimentarea normală se face de la sursa I. Sursa II de putere redusă, neeconomică sau îndepărtată, servește pentru rezervă</p>
<p>7. Radială cu rezervă de la linia principală</p> 	<p>La deconectarea oricărei linii postul se comută pe linia principală, care constituie rezerva comună indicată punctat.</p>

1	2
<p>8. Radială în două trepte cu puncte de distribuție intermediare</p> 	<p>Pentru obiective importante, în cazul unui număr mare de posturi de transformare cu unul sau două transformatoare de putere mică, amplasate dispersat.</p>
<p>9. Radială în două trepte cu puncte de distribuție puternice și cu sarcini cu șocuri</p> 	<p>Pentru uzine metalurgice cu puncte de distribuție de putere mare; sarcinile (cu șocuri) se alimentează direct de la stația principală de transformare.</p>
<p>7. Linie principală simplă, fără separatoare la intrare.</p> 	<p><b>B. Scheme cu linii principale</b></p> <p>Se folosește cu precădere la liniile principale aeriene sau la cele în cablu ușor accesibile pentru reparații (de exemplu, la cele pozate în canale). Se folosește pentru receptoare de mică importanță: electrificări rurale, depozite etc., în cazurile în care este admisibilă întreruperea alimentării cu energie pentru timpul necesar deconectării porțiunii defecte.</p>



1	2
<p>2. Linie principală simplă, cu rezervă printr-o linie principală comună</p> 	<p>Pentru sarcini de categoria <i>II</i> și <i>III</i>. Se admite întreruperea alimentării cu energie pentru timpul necesar detectării și deconectării porțiunii defecte a liniei principale. La o singură linie principală se conectează până la cinci posturi de transformare cu puterea de câte 1 000 kVA fiecare.</p>
<p>3. Linie principală simplă, cu alimentare din două părți</p> 	<p>Se folosește în cazul când trebuie asigurată alimentarea în timpul avariei de la o sursă independentă. În regim normal de alimentare se folosește o singură sursă (cea principală).</p>
<p>4. Linie principală în buclă (inel)</p> 	<p>Pentru sarcini de categoria <i>I</i> și <i>II</i>. Se permite întreruperea alimentării cu energie pentru timpul necesar deconectării porțiunii defecte a buclei. La o buclă se leagă până la cinci posturi de transformare cu puterea până la 500 kVA fiecare. Buclea se întrerupe aproximativ la mijloc, în scopul simplificării protecției prin rele.</p>
<p>5. Linie principală dublă cu linii în paralel, cu intrare-ieșire și cu automate pe partea de joasă tensiune a transformatoarelor</p> 	<p>Pentru sarcini de categoria <i>O</i> la alimentarea de la posturi de transformare cu două transformatoare, fără bare; schema asigură automat o rezervă de 100% în linii și în transformatoare.</p>
<p>6. Linie principală dublă, cu alimentare din două părți</p> 	<p>Se folosește: <i>a)</i> în cazul când, pentru asigurarea continuității în funcționare, este nevoie de alimentarea de la două surse independente, a unor sarcini mari de categoria <i>O</i>;  <i>b)</i> în cazul amplasării unor grupe de receptoare între două puncte de alimentare, când alimentarea din două părți prezintă avantaje economice în comparație cu alimentarea dintr-o singură parte, independent de condiția cerută în privința continuității în alimentarea cu energie.</p>

1	2
<p>7. Schema cu racord adânc</p> 	<p>Alimentarea postului de transformare sau a transformatoarelor izolate se face din linia principală de înaltă tensiune care intră pe teritoriul întreprinderii. Racordurile adânci de 110—220 kV se execută după schema bloc linie-transformator și se amplasează cât mai aproape posibil de cel mai mare consumator cu sarcină concentrată, prin amplasarea stației în imediata vecinătate a clădirii în care se găsesc secțiile principale. Folosirea racordurilor adânci elimină treapta intermediară de transformare și de distribuție a energiei electrice.</p>

Liniiile principale pot fi:

- simple, cu alimentare de la un capăt sau de la două capete;
- buclate multiple cu două (duble) sau mai multe linii în paralel, în diverse variante (tab. 3.4, pct. B).

Schemele cu linii principale simple și buclate se folosesc, de obicei, pentru posturile de transformare de putere mică, cu receptoarele conectate direct și care nu necesită un grad mare de siguranță în alimentarea cu energie. La schemele cu linii principale, rezerva posturilor de transformare poate fi realizată mai comod și economic de la o altă sursă de alimentare, în cazul ieșirii din funcțiune a sursei principale.

Schemele de distribuție cu linie principală sunt utilizate pentru alimentarea consumatorilor din categoria III; pentru consumatorii din categoria I și II se utilizează schemele cu linie principală buclată sau cu linie principală dublă (tab. 3.4).

Avantajele acestor scheme sunt:

- investiții mici la construirea rețelei;
- posibilitatea de realizare cu conductoare din bare.

Dezavantajele sunt:

- dificultăți în utilizarea automatizării și telecomenzii;
- siguranță mai redusă în funcționare.

### 3.4. POSTURI DE TRANSFORMARE

Sunt puncte de alimentare cu energie electrică la tensiunea de utilizare a utilajelor și receptoarelor — 380/220, 220/127, 500 și 1 000 V. Posturile de transformare reprezintă legătura dintre instalația de distribuție în medie tensiune și cea de joasă tensiune.

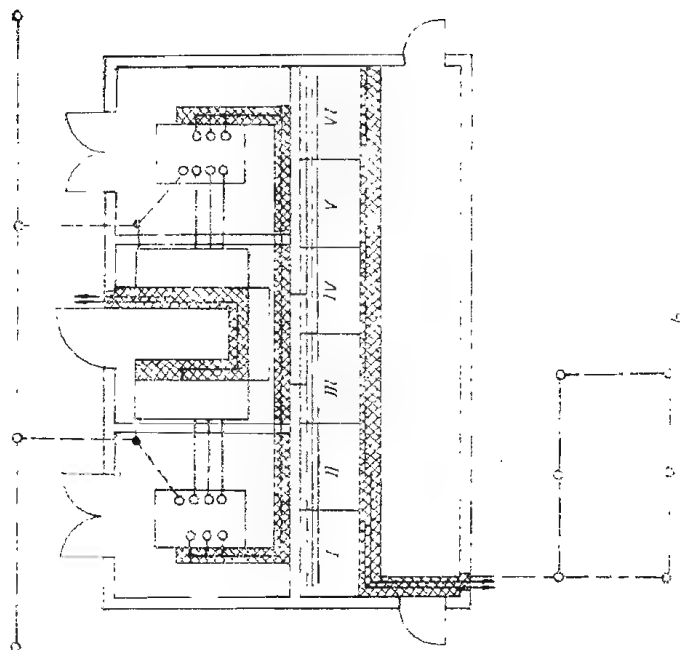
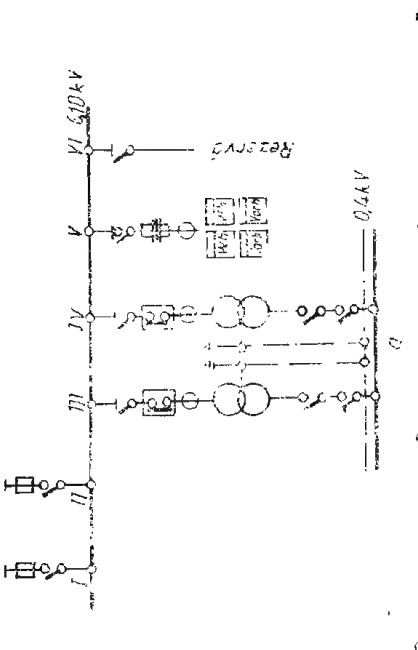


Fig. 3.7. Post de transformare în cabina metalică prefabricată:  
 a - schema electrică; b - realizarea constructivă;  $l$  - secțiunea de înaltă tensiune;  $t$  - celula transformatorului;  
 p - tabloul de distribuție de joasă tensiune;  $u$  - secțiunea de joasă tensiune;  $K_p$  - centrul de legare la pământ al protecției.

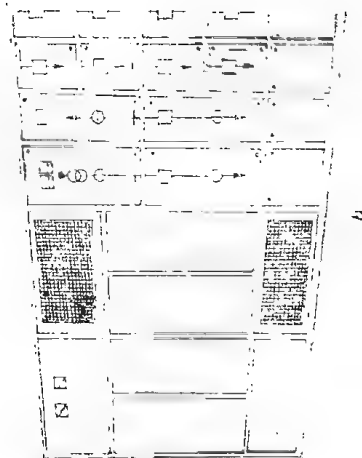
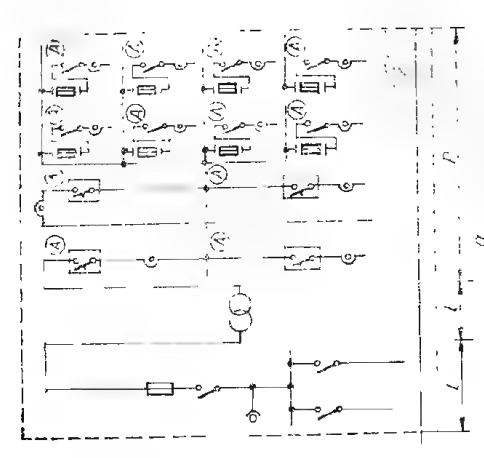


Fig. 3.8. Post de transformare subteran.  
 a - schema electrică; b - planul postului.

Din punct de vedere al amplasării, posturile de transformare se clasifică în:

- *posturi prefabricate* — (fig. 3.7) instalate în interiorul secțiilor întreprinderii, în centrele de greutate ale sarcinilor;
- *posturi integrate* în clădirile secțiilor;
- *posturi independente* de clădirile întreprinderii (fig. 3.8 și 3.9).

Posturile prefabricate reprezintă o tendință actuală în alimentarea secțiilor unei întreprinderi datorită avantajelor pe care le au din punct de vedere tehnico-economic: eliminarea construcției de zidărie, montaj simplu și rapid, reducerea lungimii rețelei de joasă tensiune prin instalarea în centrele de greutate ale sarcinilor.

Schemele de conexiuni ale unui post de transformare conțin:

- circuite primare (principale);
- circuite secundare.

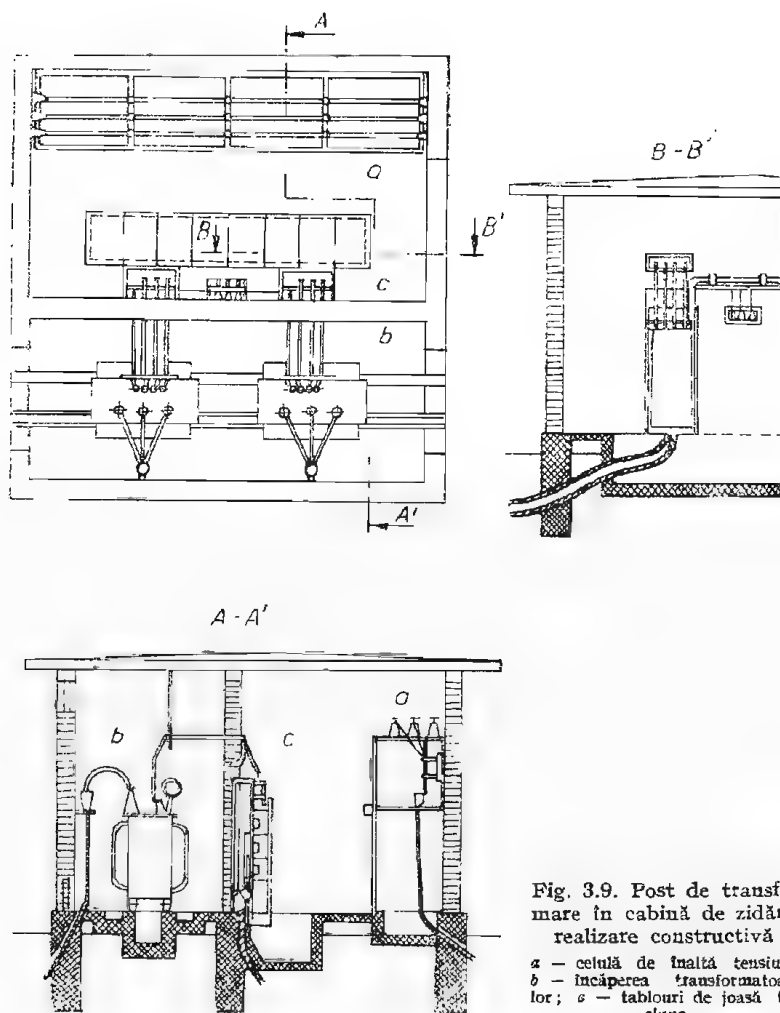


Fig. 3.9. Post de transformare în cabină de zidărie, realizare constructivă:

*a* — celulă de înaltă tensiune;  
*b* — încăperea transformatoarelor;  
*c* — tablouri de joasă tensiune.

### 3.4.1. SCHEMELE DE CONEXIUNI ALE CIRCUITELOR PRIMARE

Aceste scheme se compun din:

— *circuite de înaltă tensiune*: celule de linie (sosiri) și celule de transformator;

— *circuite de joasă tensiune*: tabloul de transformator și tablourile generale cu plecări la utilaje sau receptoare.

În cele ce urmează se va descrie echipamentul unui post de transformare (fig. 3.10) în care circuitele au fost prevăzute cu diferite variante de aparate.

a) Transformatoarele de putere  $m1$ ,  $m2$  (tip T.T.U), de 100—1 600 kVA, avînd de obicei conexiunea  $Dy_0 - 5$ , care permite un dezechilibru al sarcinii de aproximativ 30%; tensiunea nominală secundară este de

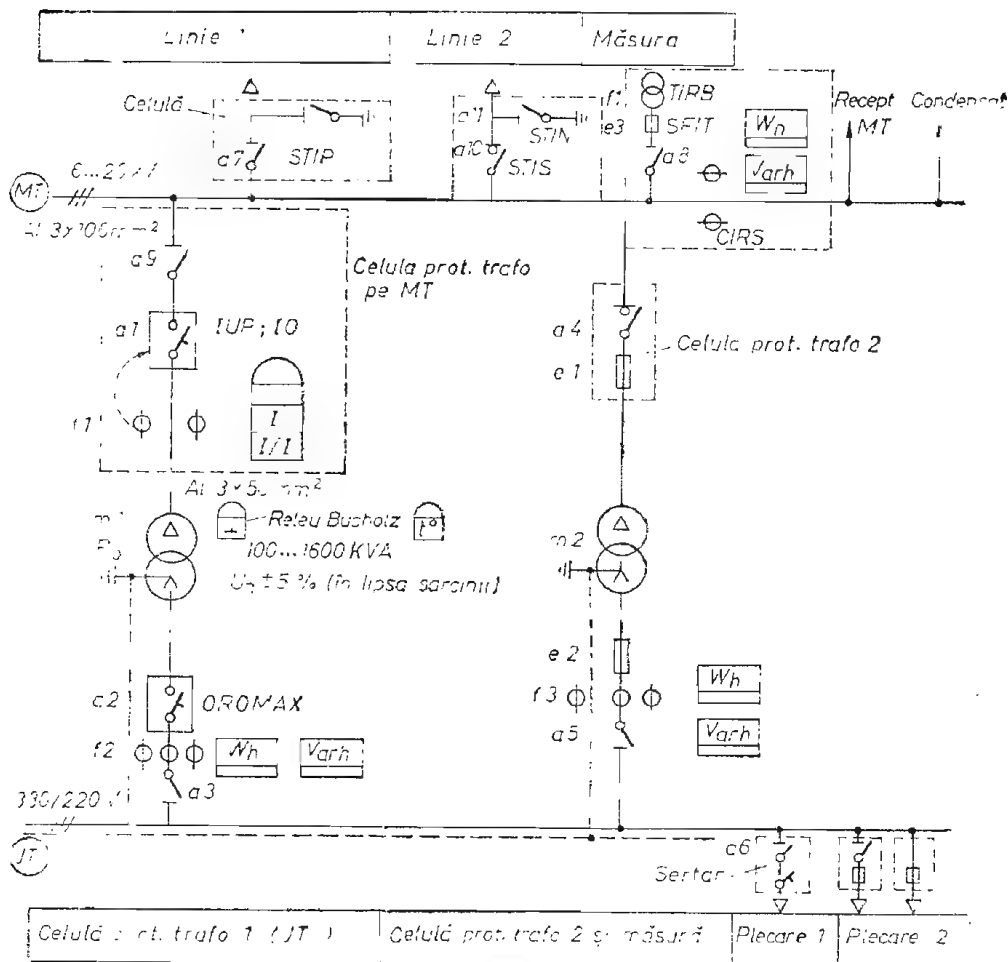


Fig. 3.10. Schema electrică a unui post de transformare în diferite variante de echipare a celulelor.

3 × 380/220 V cu posibilitate de reglaj pe înaltă tensiune de  $\pm 5\%$  în lipsa sarcinii;

b) Separatoarele a7, a8, a9 (STI), permit o separare sigură și vizibilă a circuitelor față de bare, avînd rolul de a proteja personalul de exploatare; pentru a se evita manevrarea în prezența sarcinii, separatoarele se blochează mecanic sau electric în raport cu întreruptorul circuitelor respective.

Separatorul de sarcină a10 (STIS) are în plus și rolul de întreruptor pentru curenții nominali ai circuitului, avînd puterea de rupere maximă de circa 7 MVA; protecția împotriva curenților de scurtcircuit sau supra-sarcină este realizată cu siguranțe fuzibile de înaltă tensiune, înseriate cu separatoarele de sarcină.

c) Întreruptorul a1 servește la conectarea și deconectarea manuală sau automată a circuitelor. Întreruptoarele de înaltă tensiune utilizate în posturile de transformare sînt:

- cu ulei puțin IUP, acționate prin dispozitive manuale DMI, electromagnetice DSI, cu aer comprimat DPI sau cu resoarte DRI;
- ortoejector IO, acționate prin dispozitivul cu servomotor și resorturi MR.

Puterile de rupere ale acestor întreruptoare sînt în limitele 100—500 MVA.

d) Siguranțele fuzibile de înaltă tensiune e1 (SFI), cu mare putere de rupere, pot înlocui întreruptorul în rețelele cu puteri de scurtcircuit pînă la 1 000 MVA.

e) Barele colectoare se execută din cupru sau aluminiu, de secțiune dreptunghiulară sau circulară, montate pe izolatoare tip suport.

f) Celulele prefabricate de înaltă tensiune pentru transformatoare și pentru linii conțin aparatajul aferent.

g) Tablourile de joasă tensiune, prevăzute cu separator, întreruptor automat sau siguranțe fuzibile la transformator și siguranțe fuzibile sau întreruptoare la plecările spre utilaje.

### 3.4.2. CIRCUITELE SECUNDARE

Circuitele secundare sînt:

- de comandă și interblocări;
- de protecție și automatizare (subcap. 3.10);
- de control, măsură (putere și energie — activă și reactivă), semnalizare (poziție întreruptor și separator, funcționarea protecției).

Principalele scheme sînt descrise în subcapitolul 3.10.

### 3.4.3. DIMENSIONAREA POSTURILOR DE TRANSFORMARE

Dimensionarea posturilor de transformare comportă parcurgerea a patru etape:

- alegerea numărului și a locului de amplasare a posturilor;
- determinarea puterii postului de transformare;
- determinarea numărului și a puterii transformatoarelor dintr-un post;

— asigurarea regimului economic de funcționare în paralel a transformatoarelor dintr-un post.

### 1. Alegerea numărului și a locului de amplasare

Pe planul de situație al întreprinderii sau secției se trec puterile aparente cerute  $S'_c$  sau  $S'_i$  (subcap. 1.4) de diferite secții sau utilaje din secție; se determină centrele de greutate ale grupelor de sarcini ce urmează a fi alimentate de la același  $PT$  și se calculează puterea pe ansamblul acestor sarcini, avîndu-se în vedere ca puterea unui post să nu depășească circa 4 800 kVA.

Se marchează provizoriu locurile de amplasare ale tuturor posturilor de transformare, alegîndu-se un număr cît mai mic de tipuri de posturi avînd puteri egale; în [57] se prezintă o metodă de optimizare a amplasării geografice a posturilor.

### 2. Determinarea puterii unui post

Puterea postului se determină cu relația:

$$S_{PT} \geq S'_c, \quad (3.1)$$

în care  $S'_c$  este puterea aparentă cerută de consumatorii racordați la post — relația (1.20) — ținînd cont și de o eventuală compensare a puterii reactive printr-o baterie de condensatoare  $Q_b$ .

$$S'_c = \sqrt{P_c'^2 + (Q'_c - Q_b)^2}. \quad (3.2)$$

Pentru a evita subîncărcarea transformatoarelor alese după puterea maximă cerută se va ține seama de suprasarcinile admise:

a) Suprasarcinile admise pe baza variațiilor zilnice ale sarcinii conform curbei de sarcină și stabilite prin regula celor trei procente — pentru fiecare 10 procente de reducere a coeficientului de utilizare  $K_{PM}$  (tab. 1.9) față de 100%, se admite o suprasarcină de 3% peste puterea nominală a transformatorului, pe durata supraîncărcării, adică:

$$\alpha_3 = 3 \cdot \frac{1 - K_{PM}}{10}. \quad (3.3)$$

b) Suprasarcinile admise pe baza variațiilor anuale ale sarcinii, relectate de curba anuală de sarcină și stabilite prin regula celor  $p$  procente — pentru fiecare  $p$  procente de subîncărcare vara, raportată la puterea activă  $P_{PT}$  a postului de transformare, iarna se poate admite o suprasarcină de  $p$  procente, care să nu depășească însă 15%, adică:

$$\alpha_p = \frac{P_{PT} - P_{Mv}}{P_{PT}} \leq 0,15, \quad (3.4)$$

în care  $P_{Mv}$  este puterea maximă cerută de întreprindere în lunile de vară.

Capacitatea de suprasarcină totală, datorată neuniformităților curbelor de sarcină zilnică și anuală este:

$$\alpha = \alpha_3 + \alpha_p, \quad (3.5)$$

și nu trebuie să depășească 20% pentru transformatoarele instalate în interior și 30% pentru transformatoarele montate în exterior.

Puterea activă nominală a transformatoarelor,  $P_{nT}$ , se alege în aceste condiții astfel încât, ținând cont de suprasarcina totală admisă ( $\alpha$ ), să se asigure puterea maximă cerută de întreprindere iarna  $P_M$ .

$$P_{nT} + \alpha P_{nT} \geq P_M \quad (3.6)$$

sau

$$P_{nT} \geq P'_e \cdot \frac{1 + \frac{P_{Mn}}{P_{Mi}}}{2 + \frac{3}{10} \cdot (1 - K_{PM})}, \quad (3.7)$$

în care:  $P'_e = P_{Mi}$  (relația 1.42);

$\frac{P_{Mn}}{P_{Mi}}$  și  $K_{PM}$  sînt indicatori ai curbelor anuale, respectiv zilnice, de sarcină (par. 1.5.2).

Puterea aparentă nominală a postului este:

$$S_{nT} \geq \frac{P_{nT}}{\cos \varphi}, \quad (3.8)$$

cu  $\cos \varphi$  — factorul de putere natural (necompensat) sau neutral (compensat) al consumatorilor racordați la post.

**Observație.** Relațiile sînt stabilite pentru o temperatură maximă a mediului ambiant de 35°C și minimă de -25°C, ceea ce impune ventilarea naturală sau forțată a posturilor de transformare.

### 3. Alegerea numărului $n_T$ de transformatoare din postul de transformare

Numărul de transformatoare se determină pe baza asigurării continuității în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor, care depinde de categoria acestora.

Pentru consumatorii de categoria 0, se asigură o rezervă în surse de 100% prin alegerea a 2 transformatoare în postul de transformare.

Pentru consumatorii de categoria I, se evidențiază două situații:

a) dacă puterea consumatorilor de categoria I nu depășește 50% din puterea postului, se recomandă alegerea a două transformatoare;

b) dacă puterea consumatorilor din categoria I depășește 50% din puterea postului de transformare, se recomandă utilizarea a trei transformatoare de putere egală.

Pentru consumatorii din categoria II se recomandă alegerea a două transformatoare de putere egală.

Pentru consumatorii din categoria III se recomandă alegerea unui singur transformator.

### 4. Determinarea puterii economice a unui transformator

Puterea economică este stabilită pe baza minimului pierderilor totale de putere/energie (par. 3.2.6) în condițiile utilizării eficiente a investițiilor [50].

a. Pentru primul an de exploatare, prin proiectare, se calculează puterea teoretică optimă a transformatorului  $S_{n, opt}$ , definită ca valoarea teoretică a puterii nominale cu care în condiții de exploatare date s-ar putea



obține un minim al efortului de investiții cumulat cu totalul cheltuielilor actualizate datorate pierderilor

$$S_{n\,opt} = \frac{S_{PT}}{n_T \cdot K_{M1}}, \quad (3.9)$$

în care  $S_{PT}$  este puterea  $PT$  determinată anterior;

$n_T$  — numărul de transformatoare din  $PT$  ales anterior;

$K_{M1}$  — coeficientul de încărcare maximă în primul an de exploatare, egal cu 0,65 pentru posturi de distribuție urbană; pentru posturile industriale depinde de durata de utilizare a puterii maxime — tabelul 3.5.

Tabelul 3.5

Variația coeficientului  $K_{M1}$

$t_{PM}$ [ore/an]	4 000	5 000	6 000	7 000
$K_{M1}$	0,60	0,50	0,45	0,40

În funcție de  $S_{n\,opt}$  determinat, se stabilește puterea nominală economică a transformatorului,  $S_{nT}$ , prin alegerea transformatorului cu puterea nominală cea mai apropiată de  $S_{n\,opt}$ .

b. După un an de exploatare, se înlocuiește transformatorul cu cel de putere imediat superioară, după atingerea coeficientului de încărcare maximă finală  $K_{Mf}$ ; valorile lui  $K_{Mf}$  sint date în tabelul 3.6 pentru posturi de transformare industrială, iar pentru posturi de distribuție urbană sau rurală  $K_{Mf} = 1$ .

Tabelul 3.6

Variația coeficientului  $K_{Mf}$

$t_{PM}$ [ore/an]	4 000	5 000	6 000	7 000
$K_{Mf}$	0,95	0,80	0,70	0,65

### 5. Verificarea numărului și a puterii transformatoarelor din postul de transformare

După ce s-a determinat puterea transformatoarelor cu relația (3.9), pe baza criteriului continuității în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor, se verifică dacă cu puterile alese pentru transformatoare se asigură tranzitul de putere prin post, după cum urmează:

— pentru consumatorii de categoria 0, se asigură rezerva în surse de 100%, adică:

$$\begin{aligned} 2S_{nT} &\geq 2S_{PT}, \\ 2S_{cat.0} &\leq 2S_{nT}, \end{aligned} \quad (3.10)$$

în care:  $S_{nT}$  este puterea nominală aparentă a transformatorului ales;

$S_{cat.0}$  — puterea aparentă a consumatorilor de categoria 0.

— pentru consumatorii de categoria *I*, se evidențiază două situații:  
*a)* dacă puterea consumatorilor de categoria *I* nu depășește 50% din puterea postului, se recomandă ca cele două transformatoare alese să aibă suma puterilor egală cu sarcina totală, puterea fiecăruia fiind cel puțin egală cu puterea consumatorilor de categoria *I*:

$$\begin{aligned} S_{nT} + S_{nI} &\geq S_{pT} \\ S_{nT} &\geq S_I \end{aligned} \quad (3.11)$$

în care  $S_I$  este puterea aparentă a consumatorilor de categoria *I*.

*b)* dacă puterea consumatorilor de categoria *I* depășește 50% din puterea postului de transformare, se recomandă ca două din cele 3 transformatoare alese de putere egală să aibă suma puterilor egală cu sarcina totală a consumatorilor de categoria *I*:

$$\begin{aligned} S_{nT} + S_{nI} + S_{nI} &\geq S_{pT} \\ S_{nT} + S_{nI} &\geq S_I \end{aligned} \quad (3.12)$$

*c)* la consumatorii de categoria *II*, cele două transformatoare de putere egală satisfac relația

$$S_{nT} + S_{nT} = S_{pT}; \quad (3.13)$$

*d)* pentru consumatorii de categoria *III*, se alege un transformator, care asigură puterea totală:

$$S_{nT} = S_{pT}. \quad (3.14)$$

### 3.5. CONDUCTE ȘI ECHIPAMENTE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Conductele și echipamentul electric utilizat în instalațiile electrice de înaltă tensiune se caracterizează printr-o mare diversitate, deosebindu-se din punct de vedere funcțional, constructiv și prin performanțele atinse.

Indicații concrete privind alegerea tipurilor constructive ale conductelor și echipamentelor pentru instalațiile electrice de înaltă tensiune sînt date în [5, 14, 21].

#### 3.5.1 CONDUCTE ELECTRICE

*Conductele electrice* se clasifică din punct de vedere constructiv în conducte neizolate, denumite și *conductoare* și conducte izolate — *cabluri de energie*. Celelalte tipuri de conducte sînt descrise în subcapitolul 4.5.

1. *Conductele neizolate* se clasifică în:

- *conductoare flexibile*, sub formă de funii mono sau bimetalice;
- *conductoare rigide* sub formă de bare cu secțiune dreptunghiulară, rotundă, tubulară sau de alt profil.

Conductoarele neizolate se folosesc în special la liniile electrice aeriene și la barele generale din *ST* și *PT*. După structura constructivă se disting următoarele tipuri:

— *conductoare monofilare*, compuse dintr-o singură sîrmă cu secțiune masivă, de formă circulară. Se construiesc numai din cupru sau oțel pentru secțiunile de 10 și 16 mm<sup>2</sup>.

— *conductoare multifilare monometalice (funie)* din cupru, bronz, oțel, aluminiiu și aliaje din aluminiiu. Sînt formate din 7, 19, 37 sau 61 fire separate și torsadate între ele;

— *conductoare multifilare bimetalice*, compuse dintr-o inimă din metal cu calități mecanice ridicate și o manta din metal cu mare conductibilitate electrică;

— *conductoare inelare*, cu secțiunea sub formă de inel. Se utilizează la construcția LEA cu tensiuni mai mari de 220 kV, deoarece au un diametru mai mare decît conductoarele multifilare de secțiune echivalentă, fapt care contribuie la micșorarea sau chiar reducerea pierderilor prin efectul corona.

Pentru montarea conductoarelor neizolate se folosesc *izolatoare și accesorii*, [4]. *Izolatoarele* sînt elemente pentru fixarea și izolarea conductoarelor. Din punct de vedere constructiv, izolatoarele se clasifică în:

- izolatoare suport;
- izolatoare de suspensie;
- izolatoare de trecere.

Sînt confecționate din porțelan, sticlă sau steatit. Montarea conductoarelor, soluțiile alese, precum și accesoriile necesare sînt descrise pe larg în lucrarea [30].

În tabelele 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 sînt date caracteristicile conductoarelor neizolate din cupru, oțel, aluminiiu aldrej, oțel-aluminiiu.

2. *Cablurile de energie* se compun din următoarele elemente principale: conductoare izolate, substanță de umplutură între acestea, manta de etanșare și învelișurile exterioare.

*Conductoarele* se confecționează din cupru sau aluminiiu. În ambele cazuri, conductoarele sînt formate din fire multiple torsadate (funie) în scopul realizării unei flexibilități convenabile a cablului. Profilul conductorului, circular sau în formă de sector, depinde de tipul și tensiunea nominală a cablului. Pentru cabluri cu tensiuni peste 35 kV se folosesc și alte profile, cum este mai ales cel sub formă tubulară.

*Izolația uzuală a conductoarelor cablului* este hîrtia impregnată cu ulei. În cazul montajului denivelat, această izolație prezintă dezavantajul scurgerii uleiului în părțile joase, din care cauză scade nivelul de izolație al cablului. Pentru evitarea acestui fenomen s-a recurs la fabricarea cablurilor cu izolație de cauciuc sau din diverși compuși ai acestuia; în prezent pentru izolația cablurilor pînă la 20 kV se folosesc și materiale plastice — policlorura de vinil (PCV) și polietilena (PE).

*Mantaua de etanșare*, din plumb sau PCV, protejează conductoarele izolate împotriva umidității.

*Învelișurile exterioare* protejează cablul împotriva coroziunii prin straturi de hîrtie sau iută impregnată cu o masă bituminoasă și a solicitărilor mecanice printr-o armătură metalică (1—2 straturi din bandă de oțel) acoperită cu straturi de iută impregnată.

Pentru îmbunătățirea condițiilor de funcționare electrică a cablurilor cu izolație de hîrtie, atunci cînd apare fenomenul de ionizare, la periferia izolației conductorului se aplică o folie semiconductoare din hîrtie metalică.

Tabelul 3.7

## Conductoare din cupru

Secțiunea conductorului [mm <sup>2</sup> ]		Firele componente		Diametrul conductorului [mm]	Rezistența conductorului la 20°C $\Omega/\text{km}$		Curentul maxim admis $I_C \text{ adm}$ [A]
nominală	reală	numărul	diametrul [mm]				
10	9,73	7	1,33	4,0	1,890		95
16	15,54	7	1,68	5,0	1,184		130
25	24,50	7	2,11	6,3	0,751		180
35	33,81	7	2,49	7,5	0,544		220
35	34,01	19	1,51	7,5	0,543		220
50	48,83	19	1,81	9,0	0,378		270
70	68,40	19	2,14	10,7	0,270		370
95	91,77	19	2,49	12,5	0,201		415
120	117,29	37	2,01	14,1	0,157		485
150	145,78	37	2,24	15,7	0,126		570
185	178,71	37	2,49	17,4	0,103		640
240	236,06	37	2,85	19,9	0,078		780
240	234,24	61	2,21	19,9	0,079		780
300	292,19	61	2,47	20,2	0,063		860
400	400,10	61	2,89	26,0	0,045		960
500	499,80	61	3,23	29,1	0,036		1110

Tabelul 3.8

## Conductoare firele din oțel

Secțiunea conductorului [mm <sup>2</sup> ]		Firele componente		Diametrul conductorului [mm]	Rezistența ohmică la 20°C $\Omega/\text{km}$		Curentul maxim admis $I_C \text{ adm}$ [A]
nominală	reală	numărul	diametrul [mm]				
10	10,0	7	1,35	4,0	15,0	25,0	—
16	15,9	7	1,70	5,1	8,8	16,0	45
25	24,2	7	2,10	6,3	5,8	10,0	60
35	34,4	7	2,50	7,5	4,1	7,3	75
50	49,5	7	3,00	9,0	2,8	5,1	90
50	48,3	19	1,80	9,0	2,9	5,2	90
70	65,8	19	2,10	10,5	2,1	3,8	125
95	93,3	19	2,50	12,5	1,5	2,7	140
95	94,0	37	1,80	12,6	1,5	2,7	140
120	117,0	19	2,80	14,0	1,2	2,2	—
120	116,2	37	2,00	14,7	1,2	2,2	—
150	147,1	37	2,25	15,8	1,0	1,7	—
185	181,6	37	2,50	17,5	0,8	1,4	—

Tabelul 3.9

## Conductoare din aluminiu

Secțiunea conductorului [mm <sup>2</sup> ]		Firele componente		Diametrul conductorului [mm]	Rezistența ohmică la 20°C [Ω/km]	Curentul maxim admis $I_C$ adm [A]
nominală	reală	numărul	diametrul [mm]			
16	15,80	7	1,70	5,1	1,802	105
25	24,25	7	2,10	6,3	1,811	135
35	34,36	7	2,50	7,5	0,833	170
50	49,48	7	2,00	9,0	0,579	215
50	48,36	19	1,80	9,0	0,595	215
70	65,82	19	2,10	10,5	0,437	265
95	93,27	19	2,50	12,5	0,303	320
120	117,0	19	2,80	14,0	0,246	375
150	147,1	37	2,25	15,7	0,196	440
185	181,6	37	2,50	17,5	0,159	500
240	242,1	37	2,80	20,2	0,119	590
300	299,4	61	2,50	22,5	0,097	780
400	400,1	61	2,89	26,0	0,071	855
500	499,8	61	3,23	29,1	0,057	990
625	626,2	91	2,96	32,6	0,045	1140

Tabelul 3.10

## Conductoare din aldrex

Secțiunea conductorului [mm <sup>2</sup> ]		Firele componente		Diametrul conductorului [mm]	Rezistența ohmică la 20°C [Ω/km]	Curentul maxim admis $I_C$ adm [A]
nominală	reală	numărul	diametrul [mm]			
25	24,25	7	2,1	6,3	1,351	135
35	34,36	7	2,5	7,5	0,954	170
50	49,48	7	3	9,0	0,663	210
50	48,36	19	1,8	9,0	0,678	210
70	65,82	19	2,1	10,5	0,498	255
95	93,27	19	2,5	12,5	0,352	320
120	117,0	19	2,8	14,0	0,280	365
150	147,1	37	2,25	15,7	0,223	425
185	181,6	37	2,5	17,5	0,181	490
240	242,5	61	2,25	20,2	0,135	585
300	299,4	61	2,5	22,5	0,110	670
400	400,1	61	2,89	26,0	0,082	810
500	499,2	61	3,23	29,1	0,066	930
625	626,2	91	2,96	32,6	0,052	1075

Tabelul 3.11

## Conductoare din oțel-aluminiu

Secțiunea conductorului [mm <sup>2</sup> ]		Firele componente		Diametrul conduc- torului [mm]	Rezistența ohmică la 20 °C [Ω/km]	Curentul maxim admis I <sub>adm</sub> [A]
nominală	reală	numărul	diametrul [mm]			
Construcție normală						
16/2,5	15,3/2,55	1 + 6	1,80/1,81	5,40	1,880	100
25/4	23,9/4	1 + 6	2,25/2,25	6,80	1,262	125
35/6	34,3/5,7	1 + 6	2,70/2,70	8,10	0,830	160
50/8	48,3/8	1 + 6	2,30/3,20	9,60	0,594	205
70/12	66,2/11,6	7 + 26	1,45/1,80	11,6	0,437	260
95/15	90,0/15,0	7 + 26	1,65/2,10	13,4	0,321	325
120/21	122,5/20,90	7 + 26	1,95/2,45	15,7	0,236	360
150/25	148,9/25,4	7 + 26	2,15/2,70	17,3	0,193	420
185/32	183,8/31,7	7 + 26	2,40/3,00	19,2	0,157	485
240/40	236,0/40,1	7 + 26	2,70/3,40	21,7	0,122	575
300/50	294,9/43,5	7 + 26	3,00/3,80	24,2	0,098	665
400/75	395,2/75,5	19 + 28	2,25/4,24	28,2	0,074	820
450/75	445,1/75,50	19 + 63	2,25/3,0	29,25	0,066	900
680/85	678,6/85,9	19 + 54	2,4/4,0	36	0,043	1150
Construcție întărită						
95/55	96,5/56,30	7 + 30	3,20/3,20	13,00	0,300	315
120/28	119,4/27,8	7 + 30	2,25/2,25	15,75	0,242	360
150/36	153,3/35,7	7 + 30	2,55/2,55	17,85	0,190	420
185/43	184,8/43,1	7 + 30	2,80/2,80	19,60	0,156	485
240/56	241,2/56,5	7 + 30	3,20/3,20	22,40	0,120	575
300/69	305,4/69,9	19 + 30	2,15/3,60	25,15	0,096	665
400/88	395,6/85,5	19 + 30	2,40/4,10	28,40	0,075	820
450/87	449,0/85,5	19 + 68	2,55/2,90	30,20	0,065	900

zată (cupru sau aluminiu). Această soluție se numește ecranare, iar cablurile ecranate se mai numesc și cabluri metalizate.

Caracteristicile electrice ale cablurilor sînt: *tensiunea nominală*, care este valoarea efectivă a tensiunii între faze, în c.a. sau tensiunea între conductoare în c.c., pentru care s-a prevăzut izolația dintre conductoarele cablului; *intensitatea maxim admisă* în regim permanent a cablurilor, la o anumită temperatură a mediului ambiant — este sarcina maximă, în amperi, pe care o pot transporta conductoarele cablului, fără a depăși temperatura maximă admisă de lucru (tab. 3.12 și 3.13).

Tabelul 3.12

Intensitatea maxim admisă de durată,  $I_{cadm}$  în amperi, pentru cabluri de joasă tensiune (pozarea în pămînt a unui singur cablu la 20°C)

Secțiunea conducteurului mm <sup>2</sup>	Cabluri cu izolație de cauciuc și manta de plumb de 500 V				Cabluri cu izolație de hîrtie și manta de plumb de 1 kV				Cabluri monofazate de 1 kV în regim trifazat izolate cu hîrtie			
	2 cond.		3; 4 cond.		2 cond.		3; 4 cond.		Manta de Pb		Manta de PCV	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
1,5	27	—	21	—	30	—	25	—	—	—	—	—
2,5	37	—	32	—	40	—	35	—	—	—	—	—
4	56	41	45	40	50	40	45	35	—	—	—	—
6	72	52	55	46	65	50	60	45	—	—	—	—
10	104	75	81	69	90	70	80	65	—	—	—	—
16	120	94	105	88	120	95	110	90	140	115	140	115
25	160	125	130	112	155	125	135	110	180	145	180	145
35	195	150	160	139	186	150	165	130	220	175	220	220
50	260	200	220	185	235	190	200	160	270	215	215	215
70	320	250	280	230	280	225	245	195	325	260	310	250
95	450	—	—	—	335	270	295	235	390	310	370	295
120	530	—	—	—	380	305	340	270	445	355	425	340
150	—	—	—	—	435	350	390	310	500	400	475	380
185	—	—	—	—	490	390	445	355	550	440	495	395
240	—	—	—	—	570	455	515	410	625	500	565	450
300	—	—	—	—	640	510	590	470	695	555	590	465
400	—	—	—	—	760	610	700	56	785	630	—	—

Notă. Pentru alte condiții de pozare se vor aplica coeficienții de corecție indicați în par. 4.3.12.

Intensitatea maxim admisă în regim permanent  $I_{adm}$  în amperi pentru cabluri trifazate de MT (pozarea în pământ a unui singur cablu, la 20°C)

Secțiunea conductoarelor [mm <sup>2</sup> ]	Cabluri cu izolație de hârtie și manta de plumb						Cabluri cu izolație de hârtie, cu trei mantale de plumb și cu cîmp radial						Cabluri cu izolație și manta de PCV			
	6 kV		10 kV		20 kV		6 kV		10 kV		20 kV		6 kV		10 kV	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
6	55	45	—	—	—	—	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	75	60	65	50	—	—	80	65	70	55	—	—	—	—	—	—
16	100	80	85	70	—	—	110	85	95	75	—	—	—	—	—	—
25	130	105	110	90	105	85	145	115	125	100	115	90	130	105	—	—
35	160	130	135	110	125	100	180	145	150	120	140	110	160	130	135	110
50	195	155	165	130	150	120	220	175	190	150	170	135	195	155	165	130
70	235	190	200	160	185	150	265	210	185	210	170	135	235	190	200	160
95	280	225	240	190	225	180	310	250	270	315	245	235	280	225	240	190
120	325	260	280	225	260	210	365	290	310	250	285	230	325	260	280	225
150	370	295	320	255	300	240	415	330	350	280	325	260	370	295	320	255
185	420	335	360	290	340	270	465	370	395	315	365	290	420	335	—	—
240	490	390	420	340	400	320	535	430	460	370	425	340	—	—	—	—
300	360	445	475	385	—	—	610	490	520	415	480	385	—	—	—	—
400	—	—	—	—	—	—	710	560	600	450	550	440	—	—	—	—
500	—	—	—	—	—	—	790	630	690	540	615	490	—	—	—	—

Notă. Pentru alte condiții de pozare se vor aplica coeficienții de corecție indicați în par. 4.3.12.

### 3.5.2. CARACTERISTICILE APARATELOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Principalele caracteristici sînt: tensiunea nominală  $U_n$ , tensiunea maximă de serviciu la care poate funcționa aparatul  $U_m$ , curentul nominal  $I_n$ , capacitatea de rupere nominală  $S_r$  sau  $I_n$ , capacitatea de conectare  $I_c$ , curentul limită termic  $I_{lt}$ , timpul propriu de deschidere  $t_{ps}$ , timpul total de deschidere  $t_m$ , timpul total de închidere  $i_i$ , caracteristica de protecție (funcționare), mediul pentru stingerea arcului electric, locul de montare.



După funcțiunea pe care o îndeplinesc, se deosebesc următoarele categorii:

- aparate de conectare (întreruptoare, separatoare, separatoare de sarcină);

- aparate de protecție (siguranțe fuzibile, bobine de reactanță și de stingere, descărcătoare);

- aparate de măsură (transformatoare de măsură).

O prezentare detaliată a aparatelor electrice de înaltă tensiune, fabricate în țară, este dată în lucrarea.

### 3.5.3. ÎNTRERUPTOARE

*Întreruptorul* este cel mai important aparat de comutație din circuitele primare. După principiul de stingere al arcului, întreruptoarele de înaltă tensiune pot fi cu: ulei mult, ulei puțin, aer comprimat, hexafluorură de sulf, suflaj magnetic, vid.

*Întreruptoarele cu ulei mult* — IUM sînt tot mai puțin folosite în prezent din cauza pericolului de explozie și incendiu. Au o construcție simplă și sigură și o comportare bună în exploatare. Vor fi totuși evitate pe cît posibil, rămînînd să fie folosite la posturi de transformatoare și la stații electrice de importanță redusă, de preferință numai în instalații exterioare.

*Întreruptoarele cu ulei puțin* — IUP sînt foarte răspîndite pînă la cele mai mari tensiuni și puteri de rupere. Au o construcție simplă și robustă, comportare bună în exploatare; revizia este ușoară și rapidă. Aceste întreruptoare sînt indicate pentru condițiile din țara noastră.

La noi în țară, întreprinderea Electroputere Craiova fabrică întreruptoare cu ulei puțin într-o gamă largă de tensiuni și puteri de rupere, în două serii unitare:

- întreruptoare cu ulei puțin de medie tensiune, de tipurile IO și tUP-M pentru tensiuni de 10, 15 și 20 kV (I — întreruptor; O — ortojector; U — ulei; P — puțin; M — modernizat) — tabelele 3.14, 3.15 și 3.16;

- întreruptoare cu ulei puțin de înaltă tensiune de tipurile IO și IUP pentru tensiuni de 35, 110, 220, și 400 kV — tabelele 3.17 și 3.18.

*Întreruptoarele cu aer comprimat* sînt de asemenea foarte răspîndite pînă la cele mai mari tensiuni și puteri de rupere. Au o construcție mai complicată și necesită în plus o instalație de aer comprimat de mare presiune. Pentru condițiile din țara noastră, pot fi folosite la puteri de rupere foarte mari sau în condiții de funcționare speciale.

*Întreruptoarele cu hexafluorură de sulf* se răspîndesc tot mai mult datorită calităților lor excepționale. Au o capacitate mărită de stingere a arcului și de refacere a rigidității dielectrice.

*Întreruptoarele cu suflaj magnetic* sînt simple, robuste și se comportă bine în exploatare; se fabrică în prezent pentru tensiuni medii. La curenți mici, efectul de suflaj magnetic este insuficient pentru ruperea arcului din care cauză în aceste condiții se prevăd dispozitive suplimentare (suflaj cu aer).

*Întreruptoarele cu vid* sînt încă la începutul evoluției lor fiind deocamdată foarte puțin răspîndite. Vidul înaintat ( $10^{-4} \dots 10^{-5}$  torr) are o mare



Caracteristicile tehnice ale întrerupătoarelor 110 de medie tensiune din seria normală

Nr. crt.	Tipul întrerupătorului	Tensiunea nominală [kV]	Tensiunea maximă de serviciu [kV]	Curentul nominal [kA]	Curentul limită termic la 1 s [kA]	Curentul limită dinamic [kA]	Puterea de cupere în MVA la tensiunea de serviciu, în kV				Timp total de închidere [s]	Tipul mecanismului de acționare	Conținutul de ulei [kg]	Greutatea întrerupătorului cu mecanismul de acționare [kg]
							6	10	15	20				
1	10-15	630	17,5	0,63	30	76,5	250	500	500	-	0,065	MR-2	7,4	250
2	10-15-1250	15	17,5	1,25	30	76,5	250	500	500	-	0,18	MR-3	9	280
3	10-15-200	15	17,5	2,5	30	250	500	500	500	-	0,07	MR-4	12	500
4	10-20-630	20	24	0,63	30	76,5	-	500	500	500	0,065	MR-2	7	255
5	10-20-1250	20	24	1,25	30	67,5	-	500	500	500	0,07	MR-3	9	285

Tabela 3.17

Caracteristicile tehnice ale întrerupătoarelor IUP de înaltă tensiune

Denumirea parametrului	Întrerupătoare seria					
	IUP 35 (60) a		IUP-35 b		IUP-110	
	2		3		5	
<p>Tensiunea nominală, kV</p> <p>Tensiunea maximă de serviciu, kV</p> <p>Tensiunea de încercare (50 Hz, uscat-plouie) (valoarea efectivă), kV</p> <p>Tensiunea de încercare (1,2/50 μs, uscat-plouie) (valoarea efectivă), kV</p> <p>Curentul nominal, A</p> <p>Curentul limită termic (valoarea efectivă), kA</p> <p>Curentul limită dinamic (valoarea efectivă), kA</p> <p>Curentul de rupere simetric, kA</p> <p>Puterea de rupere simetrică trifazată, în MVA la tensiune nominală și maximă de serviciu și în ciclu:</p> <p>Țiimpul de închidere, s</p> <p>Țiimpul de deschidere, s</p> <p>Masa întrerupătorului fără ulei, kg</p> <p>Tipul dispozitivului de acționare</p> <p>Dezumirea agentului de acționare</p>	35	42	35	42	110	123
	85	185	85	195	230	230
	(200)	(200)	1250	1250	550	550
	35 la 1 s	35 la 1 s	35 la 1 s	35 la 1 s	20 la 4 s	20 la 4 s
	75	75	75	75	50	50
	16,5	16,5	16,5	16,5	3000	3000
	1000	1000	1000-10	1000-10	3000	3000
	500(D-0, 3-ID)	500(D-0, 3-ID)	700(D-0, 3-ID)	700(D-0, 3-ID)	D-0,3-ID	D-0,3-ID
	0,16...0,22	0,16...0,22	0,13...0,20	0,04...0,06	0,16...0,22	0,16...0,22
	0,16...0,22	0,16...0,22	0,04...0,06	0,04...0,06	0,07...0,09	0,07...0,09
<p>Tipul dispozitivului de acționare</p> <p>Dezumirea agentului de acționare</p>	DPI-înglobat	DPI-înglobat	1×MR-4	1×MR-4	DPI-înglobat	DPI-înglobat
	aer comprimat	aer comprimat	arc	arc	aer comprimat	aer comprimat

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor IO de înaltă tensiune

Denumirea parametrului	Întreruptoare serie IO		
	IO-110	IO-220	IO-400
Tensiunea nominală [kV]	110(154)	220	400
Tensiunea maximă de serviciu [kV]	126(170)	245	420
Tensiunea de încercare (50 Hz, uscat-ploaie) (valoarea efectivă) [kV]	230	460	680
Tensiunea de încercare (1,2/50 $\mu$ s, uscat-ploaie) (valoarea de vîrf) [kV]	550	1 550	1 550
Curentul nominal [A]	1 600	1 600	1 600
Curentul limită termică (valoarea efectivă, [kA]	31,5 la 5 s	31,5 la 4 s	30
Curentul limită dinamic (valoarea de vîrf, [kA] <sub>max</sub> )	80	80	80
Curentul de rupere simetric [kA]	31,5	31,5	31,5
Puterea de rupere simetrică trifazată [MVA] la tensiunea nominală și maximă de serviciu și în ciclul:	6 000 <i>D-0,3-ID</i>	12 000 <i>D-0,3-ID</i>	20 000 <i>D-0,3-ID</i>
Masa întreruptorului fără ulei [kg]	1605 $\times$ 3	4170 $\times$ 3	6650 $\times$ 3
Tipul dispozitivului de acționare	1(3) $\times$ MOP-1	3 $\times$ MOP-1	3 $\times$ MOP-1
Denumirea agentului de acționare	azot	azot	azot

rigiditate dielectrică, iar arcul electric se stinge de la sine în vid înainte de trecerea curentului prin zero.

Dispozitivele de acționare ale întreruptoarelor pot fi:

— cu acționare *unilaterală* cînd realizează numai închiderea întreruptorului, deschiderea acestuia făcîndu-se cu ajutorul unui resort de deschidere. Este cazul dispozitivelor de tipul MR, MRI, DRI, DSI etc, folosite la întreruptoarele cu ulei puțin (tip IUP) de medie tensiune;

— cu acționare *bilaterală*, cînd realizează atât închiderea, cît și deschiderea întreruptorului, fără să mai fie nevoie de resorturi pentru deschidere. Este cazul întreruptoarelor de înaltă tensiune care folosesc dispozitive de tipul MOP (IO — 110, 220, 400) sau înglobate în ele (IUP — 35) etc.

În funcție de energia folosită, dispozitivele de acționare pot fi cu resorturi (tipurile MR, DR), cu acționare pneumatică (tipul DPI), electromagnetice (tipul DSI), manuale (tipul DMI).

### 3.5.4. SEPARATOARE

*Separatoarele* sînt aparate de conectare care asigură pentru motive de securitate, în poziția deschis, o distanță de izolare vizibilă în cadrul circuitului electric din care fac parte.

Separatorul neavînd dispozitiv de stingere a arcului electric, nu se deschide sub sarcină; deschiderea separatorului trebuie să fie precedată de deconectarea întreruptorului corespunzător.

Se pot face mai multe clasificări ale separatoarelor, după cum urmează.

a) După locul în care se montează, separatoarele pot fi: de tip *interior* (la instalații interioare) sau de tip *exterior* (la instalații exterioare).

b) După numărul de poli: *monopolare*, *bipolare*, *tripolare*.

c) După modul de deplasare al contactelor mobile: separatoare *cuțit*, avînd un contact fix și un contact mobil tip cuțit; separatoare *relative*,

avind două contacte mobile; separatoarele *basculante*, la care contactul mobil basculează împreună cu un izolator suport în planul axelor izolatoarelor suport ale polului; separatoare *pantograf*, la care contactul mobil, de o construcție specială, execută o mișcare după direcția axei izolatorului suport.

d) După absența sau prezența dispozitivului de legare la pământ există separatoare *cu* sau *fără cuțite de legare la pământ*.

În tabelul 3.19 sînt date caracteristicile separatoarelor produse de Electroputere Craiova (S — separator; M — monopolar; T — tripolar; I — interior; E — exterior; P — cuțit de legare la pământ).

Tabelul 3.19

Caracteristicile tehnice ale separatoarelor produse de Electroputere Craiova

Tipul aparatului	Tensiunea nominală [kV]	Curentul nominal [A]	Valoarea efectivă a curentului limită termic la 1 s [kA]	Valoarea de vîrf a curentului limită dinamic [kA]
1	2	3	4	5
Separatoare de interior				
SMI, STI, STIP	10	200	10	25
		400	10	25
		630	15	35
		800	20	50
SMI, STI, STIP	(15) 20	200	10	25
		400	10	25
		630	10	25
		800	20	25
SMI, STI, STIP	35	200	10	25
		400	10	25
		630	10	25
		800	20	25
STI	3	1 250	30	75
		2 000	50	125
		3 150	50	125
SMI, STI,	10	1 250	30	75
		2 000	50	125
		3 150	50	125
STIP	10	1 250	30	75
SMI, STI,	15	1 250	30	75
		2 000	40	100
		3 150	50	125
STIP	15	1 250	30	75
SMI, STI, STIP	35	1 250	20	50
Separatoare de exterior				
STE	10	200	10	25
		400	15	38
STE	20	400	10	25
SME, SMEP, SBE, SBEP, STE, STEP	35	1 250	30*	75
STE, STEP, SME, SMEP, SBE, SBEP	110	1 250	30	75
		1 600	40	100
SME, SMEP	220	1 600	31,5*	80
SME, SMEP	400	1 600	31,5*	100

\* Valoarea pentru 4 s.

Sistemul de acționare: dispozitive de acționare manuală — cu prăjini (până la 75 kV inclusiv) sau cu pîrghie (tip AME și AMI); dispozitive pneumatice (tip AP); cu acționare electrică (tip ASE).

### 3.5.5. SEPARATOARE DE SARCINĂ (STIS)

*Separatoarele de sarcină* sînt aparate de conectare capabile să întrerupă curentul nominal al unui circuit și care în poziția deschis asigură o distanță minimă între contactul fix și cel mobil întocmai ca și separatoarele normale.

Se utilizează în următoarele scopuri:

- pentru conectarea și deconectarea bateriilor de condensatoare, pînă la puteri de circa 1 200 kvar și tensiuni de 20 kV;
- pentru înlocuirea întreruptorului în punctele rețelei unde puterea de scurtcircuit este redusă (sub 30 MVA);
- la conectarea și deconectarea liniilor în gol și a cablurilor în gol;
- ca aparat de conectare în rețelele buclate, avînd rolul de a închide sau deschide bucla la sarcina nominală.

Protecția instalației este asigurată prin siguranțe fuzibile de înaltă tensiune cu mare putere de rupere montate în serie cu separatorul de sarcină.

Separatorul de sarcină are ca element de bază separatorul propriu-zis, căruia i se adaugă un *cuțit de rupere* și o *cameră de stingere* din material gazogen, de formă plată sau cilindrică.

La noi în țară, Întreprinderea Electroputere fabrică separatoare de sarcină în două tipuri constructive: SPTI și STIS (S — separator; P — de putere; T — tripolar; I — de interior; S — de sarcină) — tabelele 3.20 și 3.21. Deosebirea între cele două tipuri de separatoare constă în faptul că separatorul de sarcină STIS asigură stingerea arcului electric datorită

Tabelul 3.20

Caracteristicile tehnice ale separatoarelor SPTI și SPTip

Tensiunea nominală kV	Tensiunea de serviciu maxim admisă, kV	Tensiunea de încercare, kV				Curent nominal, A	Curentul de rupere pentru tensiunea nominală, A la $\cos \varphi$			Puterea de rupere pentru tensiunea nominală, MVA la $\cos \varphi$		Curentul de înclădire, kA <sub>max</sub>		Curentul limită termic de 1 s, kA <sub>eq</sub>	Curentul limită dinamic, kA <sub>max</sub>
		între contactele deschise ale aceluiași pol		față de pământ și între poli											
		la 50 Hz	La impuls 1,2/50 Hz	la 50 Hz	La impuls 1,2/50 μs		0,7	0,15	0,7	0,15	0,7	0,15			
10	12	45	35	35	75	400	800	600	13	10	20	15	38		
20	24	75	145	55	125	400	800	300	27	10	20	15	38		

Caracteristicile tehnice ale separatorelor de sarcină STIS

Tipul	Curentul nominal [A]	Puterea de rupere la $\cos \varphi = 0,7$ [MVA]	Valoarea efectivă a curentului de închidere pe scurtcircuit [kA]	Valoarea efectivă a curentului limită termic la 1 s [kA]	Valoarea de vârf a curentului limită dinamic [kA]
STIS 10/400	400	7	10	10	25
STIS 20/200	400	7	10	10	25

presiunii gazelor degajate de materialul camerelor de stingere sub acțiunea arcului electric, în timp ce la separatorul de tip SPTI arcul electric este stins de jetul de aer dat de către un cilindru de autocompresie.

### 3.5.6. SIGURANȚE FUZIBILE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Siguranțele fuzibile sînt destinate protecției instalațiilor electrice împotriva scurtcircuitelor și a suprasarcinilor. Se utilizează pentru: protecția împotriva scurtcircuitelor a transformatoarelor de putere pînă la 1600 kVA, la tensiuni pînă la 35 kV; protecția transformatoarelor de tensiune, în general pînă la tensiuni de 35 kV; la protecția motoarelor de înaltă tensiune (în asociere cu contactoare de înaltă tensiune, care alimentează comutarea curentă); protecția circuitelor de alimentare (cu siguranțe montate la capătul amonte al circuitului, la capătul aval găsindu-se un aparat de comutare și protecție corespunzător consumatorului), pînă la tensiuni de 35 kV; protecția bateriilor de condensatoare împotriva scurtcircuitelor interne.

În tabelul 3.22 sînt date caracteristicile tehnice ale siguranțelor fuzibile de înaltă tensiune de tip interior, FI, FIT și exterior FE, FET (F — fuzibil; I — interior; E — exterior; T — pentru transformator de tensiune).

### 3.5.7. DESCĂRCĂTOARE

Descărcătoarele sînt aparate destinate să protejeze echipamentele electrice împotriva supratensiunilor atmosferice și de comutație. Ele se montează la bornele echipamentului, pe barele stațiilor, în posturile de transformare și pe linii.

Constructiv există următoarele tipuri de descărcătoare: descărcătoare cu rezistență variabilă (tip DRV, cu sau fără rezistențe de șuntare — tip DRSV sau DRV); descărcătoare tubulare cu fibră, numite și descărcătoare cu expulsie (tipul DTF); descărcătoare cu coarne (tip DCI) destinate pentru montarea pe LLEA de medie și înaltă tensiune.

În tabelul 3.23 sînt date caracteristicile tehnice ale descărcătoarelor tip DRVS — 6 — 110.

Caracteristicile tehnice ale siguranțelor fuzibile de înaltă tensiune

Tipul siguranței		Curentul nominal al fuzibilului, $I_{nf}$ [A]	Tensiunea [kV]		Puterea de rupere trifazată [MVA]	Curentul maxim de rupere la tensiunea nominală $I_{rf}$ [kA]	Curentul maxim de rupere în [%] din $I_{nf}$
Support	Port-fuzibil		nomi- nală	maximă de serviciu			
1	2	3	4	5	6	7	8
Siguranțe de interior de tip FI, FIT							
SFI-3	FI-3	2 35 7,5	3	3,4	200	40	
		10 15 20					
		30 40 50					
		75 100					
		150					
		200					
SFI-6	FI-6	2 35 7,5	6	6,9	200	20	
		10 15 20					
		30 40 50 75					
		100 150					
		200 300					
SFI-10	FI-10	2 35 7,5	10	11,5	200	12	—
		10 15 20					
		30 40 50					
		75 100					
		150 200					
SFI (15) -20	FI-15	2 35 7,5	15	17,5	200	7,7	—
		10 15 20					
		30 40 50					
		75 100					
SFI-35	FI-35	23 5 7,5 10	35	40,5	200	3,5	—
		15 20 30 40					
SFIT-3	FIT-3	—	3	3,4	500	100	—
SFIT-6	FIT-6		6	6,9	1 000	85	
SFIT-10	FIT-10		10	11,5	1 000	50	
Siguranțe de exterior de tip FE și FET							
SFE-6	FE-62	2 3 5 7,5	6	6,9	28	200	20
		10 15 20 30					
SFE (15)-20	FE- (15)-20	2 3 5 7,5	15	17,5	47	200	7,7
		10 15 20 30					
SFE-35	FE-35	2 3 5 7,5 10	35	40,5	80	200	3,5
		15 20 30 40					
SFET- -35	FET-35	—	35	40,5	80	1 000	17



Caracteristicile tehnice ale descărcătoarelor tip DRVS-6 110

Tipul descărcătorului	Tensiunea nominală [kV]	Tensiunea de serviciu admisă $U_{adm}$ [kV]	Tensiunea de amorsare		Valoarea de vîrf a tensiunii reziduale, în kV la un curent de		Curentul de conductibilitate		Valoarea de vîrf a tensiunii de amorsare pe frontul undei	
			Valoarea efectivă la 50 Hz [kV]	Valoarea de vîrf la impuls 1/2/50 μs [kV]	5 000 A	80 A	Tensiunea aplicată în c.c. [kV]	Curentul de conductibilitate [μA]	Amplitudinea undei pîne [kV]	Tensiunea maximă la care trebuie să amorseze [kV]
DRVS-6	6	7,6	16-18	30	30	10,7	6	400-600	62,6	36
DRVS-6 S	—	—	20-24	40	40	12,7	8	400-600	—	—
DRVS-10	10	12,8	26-30	47	47	18	10	400-600	107	56,5
DRVS-15	15	21	38-48	69	69	29,6	16	400-600	157	82,8
DRVS-20	20	25,5	48-60	84	84	36	20	400-600	202	101
DRVS-29 S	—	25,5	58-72	84	84	36	24	400-600	—	—
DRVS-25	25	30	58-72	99	99	42,3	Se aplică pe elemente componente		240	119
DRVS-35	35	42	76-96	138	138	59,2			332	166
DRVS-60	60	72	134-168	237	237	101,6			568	284
DRVS-110	110	102	232-288	336	336	114			806	403

## 3.5.8. BOBINE DE REACTANȚA (REACTOARE)

Bobinele de reactanță sînt destinate să limiteze valoarea curenților de scurtcircuit în circuitele electrice de mare putere și să asigure menținerea tensiunii la valori admisibile pentru a permite funcționarea echipamentelor electrice în regim de avarie.

Se construiesc de obicei fără miez de oțel, cu răcire în aer sau în ulei. Bobinele de reactanță se execută monofazat, bobinele celor trei faze montîndu-se atît vertical, cît și orizontal, în celule.

În funcție de materialul izolant folosit pentru rigidizarea bobinajului se deosebesc bobine: în beton, în lemn, în sticlă organică și în rășini.

Caracterizarea bobinei de reactanță se face cu ajutorul reactanței relative, care este o mărime adimensională și poate fi exprimată în procente:

$$X_{B\%} = \sqrt{3} \cdot \frac{I_{nB} X_B}{U_n} \cdot 100\%, \quad (3.15)$$

în care:  $X$  este reactanța unei faze, în  $\Omega$ ;

$U_n$  — tensiunea nominală, (de linie), în V;

$I_{nB}$  — curentul nominal al bobinei, în A;

$I_{nB} \cdot X_B = U$  — căderea de tensiune pe bobină.

În țara noastră se construiesc bobine de reactanță în beton de tipul BR pentru tensiuni de 6,10 și 15 kV și curenți de 100 pînă la  $2 \times 2000$  A avînd reactanța relativă de 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 10%,  $2 \times 8\%$ ,  $2 \times 10\%$ . (tab. 3.24).

Tabelul 3.24

Caracteristicile tehnice ale bobinelor de reacţanţă

Varianta construcţiei Simbol	Număr aplicaţie	Clasa de izolaţie [kV]	Tensiunea nominală [kV]	Curentul nominal [A]	Curentul de stabilitate termică [kA, ct]	Curentul de stabilitate dinamică [kA max]	Reacţanţă %	Referinţe pt. livrare mutate şi exploatare	
								I.E. ur.	Prospect ur.
BR6 kV/200 A - 4%	5860900	7,2	6	200	5	9,16	4	29	în curs de redactare
BR6 kV/200 A - 8%	5851100	7,2	6	200	2,5	4,58	8	29	
BR6,3 kV/200 A - 4%	5851200		6,3	200	5	9,16	4	29	
BR 5,25 kV/300 A - 5,5%	5851300		5,25	300	-	-	5,5	29	
BR6 kV/400 A - 4%	5852600	7,2	6	400	10	25,4	4	29	
BR6 kV/400 A - 12%	5852700	7,2	6	400	-	-	12	29	
BR6 kV/500 A - 4%	5852800	7,2	6	500	12,5	31,75	4	29	
BR6 kV/500 A - 10%	5852900	7,2	6	500	5	9,16	10	29	
BR6 kV/600 A - 4%	5857200	7,2	6	600	15	38,1	4	29	
BR6 kV/600 A - 6%	5857300	7,2	6	600	12	30,48	5	29	
BR6 kV/600 A - 6%	5857400	7,2	6	600	10	25,4	6	29	
BR6 kV/600 A - 10%	5857500	7,2	6	600	6	15,24	10	29	
BR6 kV/640 A - 9%	5857600	7,2	6	640	-	-	9	29	
BR6 kV/750 A - 5%	5860100	7,2	6	750	15	38,1	5	29	
BR6 kV/1000 A - 4%	5862200	7,2	6	1000	25	45,8	4	29	
BR6 kV/1000 A - 5%	5862300	7,2	6	1000	20	50,8	5	29	
BR6,3 kV/1000 A - 6%	5862400	7,2	6	1000	16,6	42,1	6	29	
BR6,3 kV/1000 A - 8%	5862500	7,2	6,3	1000	12,5	37,75	8	29	
BR6 kV/1500 A - 8%	5862600	7,2	6	1000	10	25,4	10	29	
BR6 kV/1500 A - 8%	5866100	7,2	6	1500	18,75	47,62	8	29	
BR6 kV/1500 A - 6%	5866200	7,2	6	1500	25	63	6	29	
BR6 kV/1500 A - 10%	5866300	7,2	6	1500	15	38,1	10	29	
BR6 kV/2000 A - 6%	5867600	7,2	6	2000	33,3	84,68	6	29	
BR6,3 kV/2000 A - 10%	5867800	7,2	6,3	2000	20	50,8	10	29	
BR6 kV/2000 A - 1 2000 A - 8% + 8%	5867900				25	63	8	29	
BR6 kV/2000 A - 8%	586800	7,2	6	2000	25	63	8	29	
BR10 kV/200 A - 3%	5870200	12	10	200	6,06	17	3	29	
BR10 kV/400 A - 4%	5873100	12	10	400	10	25,4	4	29	
BR10 kV/400 A - 5%	5873300	12	10	400	8	20,32	5	29	
BR10 kV/400 A - 6%	5873500	12	10	400	6,66	17	6	29	
BR10 kV/400 A - 8%	5873600	12	10	400	5	12,7	8	29	
BR10 kV/400 A - 10%	5873700	12	10	400	4	10,16	10	29	
BR10 kV/600 A - 4%	5876300	12	10	600	15	38	4	29	
FR10,5 kV/600 A - 6%	5876500	12	10,5	600	10	25,4	6	29	
BR10 kV/800 A - 8%	5876600	12	10	600	7,5	17	3	29	
BR10 kV/1000 A - 4%	5880100	12	10	1000	25	63	4	29	
BR10 kV/1000 A - 6%	5880200	12	10	1000	16,6	42,16	6	29	
BR10 kV/1000 A - 8%	5880300	12	10	1000	12,5	31,75	8	29	
FR10 kV/1000 A - 10%	5880400	12	10	1000	10	25,4	10	29	

### 3.5.9. BOBINE DE STINGERE

*Bobinele de stingere* sînt aparate electrice de curent alternativ care furnizează curentul inductiv necesari stingerii (anulării) curenților capacitivi la locul de defect, în cazul punerii la pămînt a unei faze în rețelele de medie tensiune funcționînd cu neutrul izolat. Ele se leagă direct la neutrul transformatoarelor, prin intermediul unui separator, în situația în care înfășurarea transformatorului are neutrul accesibil sau la neutrul unui transformator auxiliar, montat special pentru crearea acestei posibilități, denumit transformator de creare a nulului.

Bobinele de stingere se montează în rețelele electrice la care curenții capacitivi depășesc 10 A, [64].

În funcție de sistemul de reglaj al inducției se deosebesc următoarele tipuri de bobine de stingere: cu ploturi reglabile (bobine Peterson); cu miezuri reglabile (reglaj continuu); cu magnetizare suplimentară în curent continuu.

În țara noastră se execută primele două tipuri și anume: BS — 6,6/3,8 — 200 kVA și BS — 6,3/3,6 — 370 kVA, pentru rețelele de 6 kV, precum și BS — RC  $20/\sqrt{3}$  — 600 kVA, pentru rețelele de 15 ÷ 20 kV.

### 3.5.10. TRANSFORMATORE DE MĂSURĂ

*Transformatoarele de măsură* sînt aparate electromagnetice care transformă valorile curentului și tensiunii la valori convenabile pentru alimen-tarea aparatelor de măsură, de protecție și de reglare — 100 sau 110 V, respectiv 5 sau 1 A.

Transformatoarele de măsură se clasifică după mai multe criterii.

1. În funcție de parametrul a cărui valoare o reduc, există:

— *transformatoare de curent* (TC) a căror înfășurare primară se conectează în serie cu circuitul primar, iar bobinajul secundar alimentează releele de curent, ampermetrele, bobinele de curent ale wattmetrelor, contoarelor, fazmetrelor etc.; curentul nominal primar  $I_1$ , poate fi 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 750, 1 000, 1 500, 2 000, 3 000, 4 000 sau 5 000 A; curentul nominal secundar  $I_2$ , este de 5 A, iar puterile nominale secundare  $P_{2n}$  sînt de 5, 10, 15, 30, 60, 90 VA;

— *transformatoare de tensiune* (TT) a căror înfășurare primară se conectează în paralel cu circuitul primar, iar înfășurarea secundară alimentează releele de tensiune, voltmetrele, bobinele de tensiune ale wattmetrelor, contoarelor, fazmetrelor etc.; tensiunea nominală primară este egală cu tensiunile normalizate la noi în țară, iar tensiunea nominală secundară este egală cu 100 sau  $100/\sqrt{3}$  V; puterile nominale secundare sînt de 10, 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 480, 600, 900 sau 1 000 VA.

2. După numărul înfășurărilor secundare:

- cu o singură înfășurare secundară;
- cu două sau mai multe înfășurări secundare;

3. După felul instalației în care se pot monta:

- transformatoare de tip interior — simbol I;
- transformatoare de tip exterior — simbol E.

4. După modul în care se montează :

- transformatoare de trecere, simbol T (numai pentru cele de curent);
- transformatoare tip suport, simbol S.

5. După felul izolației dintre înfășurări :

- transformatoare cu aer sau uscate;
- transformatoare cu izolație în ulei, simbol U;
- transformatoare cu izolație de porțelan, simbol P;
- transformatoare cu izolație de rășini sintetice turnate, simbol R.

În tabelele 3.25 și 3.26 sînt date caracteristicile transformatoarelor de măsură. Transformatoarele de tensiune pot fi monofazate (M), bifazate (B) sau trifazate (T).

### 3.6. CALCULUL ELECTRIC AL INSTALAȚIILOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE

În cadrul acestui paragraf se vor indica formulele de calcul ale parametrilor schemelor electrice echivalente ale instalațiilor de înaltă tensiune, necesare calculului pierderilor de putere, energie și tensiune, precum și calculul curenților de scurtcircuit. În cele ce urmează se vor explicita aceste noțiuni prezentate centralizat în tabelul 3.27.

#### 3.6.1. PARAMETRII ELECTRICI AI TRANSFORMATOARELOR ȘI AUTOTRANSFORMATOARELOR

Transformatoarele și autotransformatoarele sînt componentele principale ale stațiilor și posturilor de transformare.

Mărimile și parametrii caracteristici ai unui transformator sînt :

- puterea nominală aparentă,  $S_n$ ;
- tensiunile nominale  $U_n$  de linie, de înaltă (IT) și joasă tensiune (JT) și posibilitățile de reglaj;
- raportul de transformare,  $K_{12}$ ;
- parametrii electrici (rezistența, reactanța, conductanța, susceptanța și impedența);
- tensiunile relative de scurtcircuit ( $U_{sc}$  în procente) și curentul de mers în gol ( $I_0$  în procente);
- pierderile active nominale la mersul în gol ( $\Delta P_0$ ) și în scurtcircuit ( $\Delta P_{sc}$ );
- conexiunile înfășurărilor și numerele lor caracteristice.

Pentru transformatoarele trifazate de putere se folosesc trei conexiuni de bază : stea (Y sau y), triunghi (D sau d) și zig-zag (z) cu neutru accesibil (N sau n) sau inaccesibil. Numărul caracteristic al conexiunii reprezintă multiplul de 30°C cu care fazorul joasei tensiuni de linie este defazat față de fazorul tensiunii înalte al bornei de același nume.

În R.S. România grupele de conexiuni sînt reglementate prin STAS 1703-67.

Caracteristicile tehnice ale transformatoarelor de curent fabricate de Întreprinderea Electroputere Craiova

Denumirea transformatorului: de curent	Tipul	Caracteristicile tehnice principale								Observații
		Raportul de transformare $I_{1n}/I_{2n}$	$\frac{S}{\sum P}$	$U_i$ [kV]	$I_{It}$ [kA]	$I_{In}$ [kA]	Clasa de precizie	$P_{2n}$ [VA]	$n$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Transformator de curent tip trecere, cu izolație din bachelită, pentru montaj interior	CIT-0,5 t	100 250/5	0,5	3	$I_t = 60 I_{In}$	—	1	5	< 10	Execuție monospirală
Transformator de curent tip șină, cu izolație din bachelită, pentru montaj interior	CIT-0,5 t	300—3000/5	0,5	3	$I_t = 60 I_{In}$	—	0,5 1	10 15 30	< 5 < 10	Prinuarul transformatorului este chiar bara instalației
Transformator de curent tip suport, cu izolație din capace de bachelită, pentru montaj interior	CIS 0,5 t	5—300/5	0,5	3	$I_t = 60 I_{In}$	$I_t = 150 I_{In}$	0,5	10	< 5	
Idem, cu izolație din rășină turnată pentru montaj interior	CIRS-0,5 t	5—300/5	0,5	3	$I_t = 60 I_{In}$	$I_t = 150 I_{In}$	0,5	10	< 5	Pentru condiții grele de mediu (climat tropical, mării etc.)
Idem, tip trecere, cu izolație din rășină turnată, pentru montaj interior	CIRT-0,5 t	100—250/5	0,5	3	$I_t = 50 I_{In}$	—	1	5	< 10	Idem, monospiral
Idem, de trecere, tip șină, pentru interior, cu izolație de rășină turnată	CIRT-0,5 t	300—3000/5	0,5	3	$I_t = 60 I_{In}$	—	0,5	10	< 5	Idem. Bobinajul primar este format din înșăși bara instalației
Transformator de curent cu izolație de porțelan, tip trecere, pentru montaj interior	CIPT-10;15	5—400/5	10 15	42 55	$I_t = 90 I_{In}$	$I_t = 250 I_{In}$	0,5 3 0,5 D	15/30 15/15	< 10 < 5 < 10 < 10	Înfășurarea primară multispirală

Tabela 3.25 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Transformator de curent tip trecere, monospiral, cu izolație de porțelan, pentru montaj interior	CIPT-10 15 15	600-1500/5	10 15 15	42 55 55	$I_t = 100 I_{1n}$	—	0,5 D 1 3 0,5 3	20/50 20/20	$\geq 20$ $< 10$ $\geq 15$ $< 10$	
Idem	CIPT-10 b	400-1000/5	10	35	$I_t = 100 I_{1n}$	—	0,5 D 1 3	15/30 30/60	$< 10$ $\geq 10$ $< 10$ $\geq 5$	
Transformator de curent de trecere, tip singă, cu izolație de porțelan, pentru montaj interior	CIPT-10 c	2000- -5000/5	10	42	$I_t = 100 I_{1n}$	—	0,5 0,5 0,5 3 D D D 0,5	30/15 30/30	$\geq 20$ $< 10$ $\geq 20$ $< 10$	
Transformator de curent, cu izolație de porțelan, tip suport, pentru montaj interior	CIPS 10	15-800/5 2(15-400)/5	10	42	$I_t = 100 I_{1n}$	$I_d = 250 I_{1n}$	0,5 3 3	15/30 30/30 30	$< 10$ $\geq 10$ $< 10$ $\geq 5$	

Transformator de curent tip suport, pentru montaj interior, cu izolație din rășină turnată	CIRS-10 a	15	600/5	10	42	$I_t = 100 I_{1a}$	$I_d = 250 I_{1a}$	$0,5 \frac{D}{D}$ $0,5$ 3 $1/D$ $1/8$	$15/30$ $30/30$	$< 10$ $> 5$ $< 10$ $< 10$	
Idem, de 35 kV	CIRS-6; 10; 20; 35	$2(5 \frac{400}{5/5})$		6 10 20 35	27 35 55 85	$I_t = 100 I_{1a}$	$I_d = 250 I_{1a}$	$0,5$ 3 $1/3$ $0,5/1$ $0,2/1$	$15/30$ $30/30$ $30/60$	$< 5$ $< 10$ $< 10$ $< 5$	
Transformator de curent tip suport, cu izolația din ulei, pentru montaj exterior	CISU-35	5	1 000/5	35	85 (95)	$I_t = 100 I_{1a}$	$I_d = 250 I_{1a}$	$0,5/3$ $0,5/D$ $D/D$	$50/50$ $30/40$ $60/60$	$< 20$ $> 5$ $< 15$ $< 15$ $< 10$ $< 5$	
Idem	CISU-110b	$2(50-300)$ $5/5/5$		110	230 (260)	$I_t = 120 I_{1a}$	$I_d = 350 I_{1a}$	$0,5/$ $D/3$ $D/D/3$ $0,5/$ $D/D$	30 30 60 30 30 30	$< 10$ $> 15$ $< 5$ $< 15$ $> 15$ $< 5$	

Tabelul 3.25 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Transformator de curent cu saturatie rapidă, pentru alimențarea bobinelor de declanșare	CIS-1	4-5/3,5	1	3	$I_{max\ devolată} \dots 9,5 \text{ A}$ $I_{2\ max} \dots 8 \text{ A}$					Bobinele de declanșare ale dispozitivelor de acționare a întrerupătoarelor folosesc curent alternativ
Transformator de curent homopolar (se introduce pe cablu)	CIH-75	$I = 10 \text{ A}$	0,5	2	0,2					Pentru protecția contra puerilor la păunat

Tabelul 3.26

Caracteristicile tehnice ale transformatoarelor de tensiune fabricate de Uzinele Electroputere Craiova

Denumirea transformatorului de tensiune	Tipul	Caracteristici tehnice principale ale variantelor fabricate						
		Raportul de transformare [kV/kV]	Tensiunea maximă de lucru [kV]	Tensiunea de încrețire [kV]	Tensiunea nominală $P_{2n}$ VA			Puterea nominală $m$ , VA
					Clasa 0,5	Clasa 1	Clasa 3(D)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Transformator de tensiune monofazat pentru montaj interior, cu izolația din rășini de turnare	TIRM-0,5	0,38/0,1	0,46	3	15	30	60	120
		0,4/0,1	0,48	3	30	60	90	180
		0,5/0,1	0,60	3	30	60	90	180



Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj interior, cu izolația din rășini de turnare	TIRM-6	$\frac{5}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$6/\sqrt{3}$	27	60	120	240	480
	TIRM-10	$\frac{6}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$7,2/\sqrt{3}$	27	60	120	240	480
	TIRM-15	$\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$12/\sqrt{3}$	35	60	120	240	480
		$\frac{15}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$17,5/\sqrt{3}$	45	90	180	300	600
Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj interior, cu izolație din ulei	TIBU-6	$\frac{3}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	3,6		30	50	120	240
		$\frac{5}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	6,0		50	80	200	400
		$\frac{6}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	7,2	27	50	80	200	400
	TIBU-10	$\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	12,0	35	80	150	320	640
	TIBU-15	$\frac{15}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	17,5	45	80	150	320	640
Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj interior, cu izolație din rășini de turnare	TIRB-6	$\frac{5}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	6,0		60	120	240	480
		$\frac{6}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	7,2	27	60	120	240	480
		$\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	12,0	35	90	180	300	600
	TIRB-10	$\frac{15}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	17,5	45	90	180	300	600
Transformator de tensiune trifazat, pentru montaj interior, cu izolația din ulei (cu cinci coloane). Punct pentru izolat la masă pentru tensiunea de 2 kV	TITC-6	$\frac{3}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$3,6/\sqrt{3}$		50	80	200	400
		$\frac{5}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$6/\sqrt{3}$		80	150	320	640
		$\frac{6}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$7,2/\sqrt{3}$	27	80	150	320	640
	TITC-10	$\frac{10}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$12/\sqrt{3}$	35	120	200	480	960
	TITC-15	$\frac{15}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$17,5/\sqrt{3}$	45	120	200	480	960

Tabelul 3.26 (continuat)

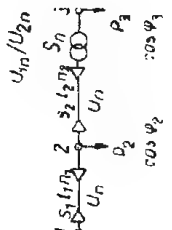
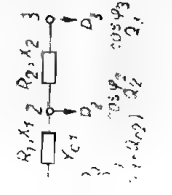
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj interior, cu izolația din rășini de turnare	TIRM-20	$\frac{20}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$24/\sqrt{3}$	55	120	240	480	960
	TIRM-25	$\frac{25}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$30/\sqrt{3}$	65	120	240	480	960
	TIRM-35	$\frac{35}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$42/\sqrt{3}$	85	120	240	480	960
Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj interior, cu izolație din rășini de turnare	TIRB-20	$\frac{20}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	24	55	120	240	480	960
	TIRB-25	$\frac{25}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	30	65	120	240	480	960
	TIRB-35	$\frac{35}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	42	85	120	240	480	960
Transformator de tensiune monofazat, pentru montaj exterior, cu izolație din ulei	TEMU-20	$\frac{20}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$24/\sqrt{3}$	55	90	180	300	900
	TEMU-25	$\frac{25}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$30/\sqrt{3}$	65	90	180	300	600
	TEMU-35	$\frac{35}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$42/\sqrt{3}$	85	90	180	300	600
Transformator de tensiune bifazat, pentru montaj exterior, cu izolația din ulei (de tip inductiv)	TEBU-20	$\frac{20}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	24	55	90	180	300	600
	TEBU-25	$\frac{25}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	30	65	90	180	300	600
	TEBU-35	$\frac{35}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	42	85	90	180	300	600
Transformator de tensiune monofazat, cu izolația din ulei, pentru montaj exterior (tip inductiv cu un singur circuit magnetic)	TEMU-110	$\frac{110}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{3}$	$123/\sqrt{3}$	185	300	600	900	1800

Formule de calcul simplificat pentru determinarea parametrilor electrici și a pierderilor de putere în instalațiile electrice

Nr. crt.	Elementele	Soluția electrică de principiu	Schema electrică echivalentă	Parametrii electrici în schemei electrice	Pierderile de putere și aportul capacitiv	Puterea la capătul de intrare	
						$P_1$ [kW]	$Q_1$ [var]
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Linie electrică aeriană			$R_l = \frac{l}{n} \cdot R_0$ $X_l = \frac{l}{n} \cdot 0,4$ $R_0$ din tabele în funcție de $s$ , $n$ , număr linii în paralel	$\Delta P = \frac{10^{-3} \cdot P_2^2}{U_n^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot R_l$ $\Delta Q = \frac{10^{-3} \cdot P_2^2}{U_n^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot X_l$ $P_1 = P_2 + \Delta P$ $Q_1 = Q_2 + \Delta Q$		
2	Linie electrică în cablu (subterană)			$R_c = \frac{l}{n} \cdot R_0$ $X_c = \frac{l}{n} \cdot 0,08$ $Y_c = nY_0$ $R_0, Y_0$ din tabele în funcție de $s$	$\Delta P = \frac{10^{-3} \cdot P_2^2}{U_n^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot R_c$ $\Delta Q = \frac{10^{-3} \cdot P_2^2}{U_n^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot X_c$ $Q_{admis} = 10^3 \cdot Y_c \cdot U_n^2$ $P_1 = P_2 + \Delta P$ $Q_1 = Q_2 + \Delta Q$		
3	Transformator cu două înfășurări			$R_T = \Delta P_{sc} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \cdot 10^3$ $X_T = U_n \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \cdot 10$ ( $U_n$ poate fi $U_{1n}$ sau $U_{2n}$ ) $\Delta Q_0 = \frac{I_0 \cdot S_n}{100}$	$\Delta P = \Delta P_0 + 10^{-3} \cdot \frac{P_2^2}{\cos^2 \varphi} \cdot \frac{R_T}{U_n^2}$ $\Delta Q = \Delta Q_0 + 10^{-3} \cdot \frac{P_2^2}{\cos^2 \varphi} \cdot \frac{X_T}{U_n^2}$ (același $U_n$ cu care s-a calculat $R_T, X_T$ ) $P_1 = P_2 + \Delta P$ $Q_1 = Q_2 + \Delta Q$		

Tabell 3.27 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7
4	Linie în serie cu transformator	<p><math>U_{1n}/U_{2n}</math> <math>I_{1n}</math> <math>U_{1n}</math> <math>U_{2n}</math> <math>P_2</math> <math>\cos \varphi</math></p>	<p><math>U_{1n}/U_{2n}</math> <math>I_{1n}</math> <math>U_{1n}</math> <math>U_{2n}</math> <math>P_2</math> <math>\cos \varphi</math></p>	$R = R_1 + R_2$ $X = X_1 + X_2$ $\Delta Q_0 = \frac{I_0^2 S_n}{100}$	$\left\{ \begin{array}{l} R_T, X_T \\ \text{calculate} \\ \text{pentru} \\ U_n = U_{1n} \end{array} \right.$	$\Delta P = \Delta P_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2 \varphi} \frac{U_n^2}{U_n^2} - R$ $\Delta Q = \Delta Q_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2 \varphi} \frac{U_n^2}{U_n^2} - X$	$P_1 = P_2 + \Delta P$ $Q_1 = Q_2 + \Delta Q$
5	Cablu în serie cu transformator	<p><math>U_{1n}/U_{2n}</math> <math>I_{1n}</math> <math>U_{1n}</math> <math>U_{2n}</math> <math>P_2</math> <math>\cos \varphi</math></p>	<p><math>U_{1n}/U_{2n}</math> <math>I_{1n}</math> <math>U_{1n}</math> <math>U_{2n}</math> <math>P_2</math> <math>\cos \varphi</math></p>	$R = R_1 + R_2$ $X = X_1 + X_2$ $\Delta Q_0 = \frac{I_0^2 S_n}{100}$	$\left\{ \begin{array}{l} R_T, X_T \\ \text{calculate} \\ \text{pentru} \\ U_n = U_{1n} \end{array} \right.$	$\Delta P = \Delta P_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2 \varphi} \frac{U_n^2}{U_n^2} - R$ $\Delta Q = \Delta Q_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2}{\cos^2 \varphi} \frac{U_n^2}{U_n^2} - X$	$P_1 = P_2 + \Delta P$ $Q_1 = Q_2 + \Delta Q$

<p>Trei elemente în serie (cablu, trafo)</p> <p>6</p>			$R_1 = R_{e1}$ $X_1 = X_{e1}$ $R_2 = R_{e2} + R_{e1}$ $X_2 = X_{e2} + X_{e1}$ $\Delta Q_0 = \frac{I_0^2 S_n}{100}$ $Y_{e1} = \pi_1 Y_{o1}$ $Y_{e2} = \pi_2 \cdot l_2 \cdot Y_{o2}$	$\Delta P = \Delta P_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_n^2} \cdot R_2 + 10^{-3} \cdot \frac{(P_2 + P_1)^2 + (Q_2 + Q_1)^2}{U_n^2}$ $\Delta Q = \Delta Q_0 + 10^{-3} \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_n^2} \cdot X_2 + 10^{-3} \cdot \frac{(P_2 + P_1)^2 + (Q_2 + Q_1)^2}{U_n^2} \cdot X_1$ $Q_0 = (Y_1 U_n^2 + Y_2 U_n^2) 10^3$	$P_1 = P_2 + \Delta P$ $Q_1 = Q_2 + \Delta Q$
---	---	--	--	--	---

**Observații.** 1. Cu formulele de mai sus se calculează pierderile numai în funcție de puterile sarcinilor efective, chiar dacă sînt mai multe tronsoane de rețea în serie. Pierderile și aportul capacitiv la cabluri  $Q_c$  se consideră numai la determinarea puterii totale absorbite din rețea ( $P_l, Q_l$ ).

2. Unitățile de măsură în care se exprimă toate mărimile cu care se lucrează sînt:

$P, \Delta P$  [kW];  $Q, \Delta Q, Q_c$  [kvar];  $S_n$  [kVA];  $s$  [mm<sup>2</sup>];  $R_0, X_0$  [Ω/km];  $Y_0$  [S/km];  $l$  [km],  $R, X$  [Ω];  $Y$  [S].

3. Caracteristicile uzuale pentru cabluri și LEA:

a) cabluri 6 kV—Al	$s$ [mm <sup>2</sup> ]	$R_0$ [Ω/km]	$X_0$ [Ω/km]	$Y_0$ [S/km]
	120	0,257	0,08	0,000144
	150	0,204	0,08	0,00017
	240	0,133	0,08	0,00023
b) LEA	—	—	0,4	—

4. La cabluri s-a neglijat conductanța și deci  $B_c \approx Y_c$ .

Transformatoare trifazate de putere cu două înfășurări, fabricate în R. S. România

$S_n$ [MVA]	Tipul	$U_n$ [kV]		Reglaj (IT) [%]	Grupa le conexiuni	Pierderi nominale [kW]		$U_{sc}$ [%]	$I_{sc}$ [%]	Preț inter mal [mil. lei]
		IT	JT			$\Delta P_c$	$\Delta P_{sc}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,100	TTU-NL	6	0,4	$\pm 5$	Yz <sub>n</sub> 5	0,350	2,3	4	3,0	15
0,100	TTU-NL	10	0,4	$\pm 5$	Yz <sub>n</sub> 5	0,350	2,3	4	3,0	15
0,100	TTU-NL	20	0,4	$\pm 5$	Yz <sub>n</sub> 5	0,365	2,3	4	3,0	15
0,160	TTU-NL	6	0,4	$\pm 5$	Yz <sub>n</sub> 5	0,500	3,1	4	2,9	20
0,160	TTU-NL	10	0,4	$\pm 5$	Yz <sub>n</sub> 5	0,500	3,1	4	2,9	20
0,160	TTU-NL	20	0,4	$\pm 5$	Yz <sub>n</sub> 5	0,525	3,1	4	2,9	20
0,250	TTU-NL	6	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	0,660	4,4	6	2,9	22
0,250	TTU-NL	10	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	0,660	4,4	6	2,9	27
0,250	TTU-NL	20(15)	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	0,680	4,4	6	2,9	27
0,400	TTU-NL	6	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	0,840	6,0	6	2,8	40
0,400	TTU-NL	10	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	0,840	6,0	6	2,8	40
0,400	TTU-NL	20(15)	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	0,980	6,0	6	2,8	40
0,630	TTU-NL	6	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	1,200	8,2	6	2,4	63
0,630	TTU-NL	10	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	1,200	8,2	6	2,4	63
0,630	TTU-NL	20(15)	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	1,250	8,2	6	2,4	63
1	TTU-NL	6	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	1,850	12,0	6	2,0	76,5
1	TTU-NL	10	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	1,850	12,0	6	2,0	76,5
1	TTU-NL	20(15)	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	1,950	12,0	6	2,0	76,5
1	TTU-NL	20	6,3	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	1,950	12,0	6	2,0	76,5
1,6	TTU-NL	6	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	2,600	18,0	6	1,7	95,5
1,6	TTU-NL	10	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	2,600	18,0	6	1,7	95,5
1,6	TTU-NL	20(15)	0,4	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	2,700	18,0	6	1,7	95,5
1,6	TTU-NL	20	6,3	$\pm 5$	Yy <sub>n</sub> 0	2,700	18,0	6	1,7	95,5
1,6	TTU-NL	20(15)	6,3	$\pm 5$	Dy <sub>n</sub> 5	2,700	18,0	6	1,7	95
4	TTU-NL	35	6,3	$\pm 2 \times 2,5$	Y <sub>N</sub> d5	6,7	33,5	7,5	1	189,5
4	TTU-NL	22	6,3	$\pm 2 \times 2,5$	Y <sub>N</sub> d5	6,7	33,5	7,5	1	189,5
6,3	TTU-NL	35	6,3	$\pm 2 \times 2,5$	Y <sub>N</sub> d5	9,4	46,5	7,5	0,9	240
6,3	TTU-NL	22	6,3	$\pm 2 \times 2,5$	Y <sub>N</sub> d5	7,4	46,5	7,5	0,9	240
10	TTU-NL	35	6,3	$\pm 2 \times 2,5$	Y <sub>N</sub> d5	16	65	7	2	415,5
10	TTU-NL	35	22	$\pm 2 \times 2,5$	Y <sub>N</sub> d5	16	65	7	2	415,5

Tabelul 3.28 (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
16	TTUS-NS	110	6,3	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	19	69	11	1,3	670
16	TTUS-NS	110	<b>6,6</b>	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	19	69	11	1,3	670
10	TTUS-NS	110	11	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	19	69	11	1,3	670
10	TTUS-NS	110	22	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	19	69	11	1,3	670
16	TTU-NL	20	6	$\pm 2 \times 2,5$	$V_{xd11}$	21	100	18,5	2	568
16	TTUS-NS	35	6,3	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	24	97	8,5	1,2	734
16	TTU-NL	38,5	6,6	$\pm 2 \times 2,5$	$V_{xd11}$	21	100	8	2	568
16	TTUS-NL	110	6,6	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	24	97	11	1,2	925
16	TTUS-FS	110	6,6	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	24	97	11	1,2	1058
16	TTUS-NS	110	11	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	21	97	11	1,2	925
16	TTUS-FS	110	11	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	24	97	11	1,2	1058
16	TTUS-NS	110	22	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	24	97	11	1,2	925
16	TTUS-NS	110	22	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	24	97	11	1,2	1058
16	TTUS-NS	116	6,3	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	24	97	11	1,2	925
16	TTUS-FS	116	6,3	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	24	97	11	1,2	1053
25	TTUS-NS	35	6,3	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	10	1	1140
25	TTUS-NS	110	6,3	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1020
25	TTUS-FS	110	6,3	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1141
25	TTUS-NS	110	6,6	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1020
25	TTUS-FS	110	6,6	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1141
25	TTUS-FS	110	6,6	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1300
25	TTUS-NS	110	11	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1020
25	TTUS-FS	110	11	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1141
25	TTUS-NS	110	22	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1020
25	TTUS-FS	110	22	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1141
25	TTUS-NS	116	6,3	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1020
25	TTUS-FS	116	6,3	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1141
25	TTUS-NS	116	6,6	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1056
25	TTUS-FS	116	10,5	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	30	130	11	1	1141
40	TTUS-FS	110	6,3	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	52	180	12	1	1685
40	TTUS-FS	110	6,6	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	52	180	12	1	1685
40	TTUS-FS	110	10,5	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	52	180	21	1	1685
40	TTUS-FS	110	11	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	52	180	12	1	1685
40	TTUS-FS	110	22	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	52	180	12	1	1685
63	TTUS-FS	110	6,6	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	60	260	12	0,9	2000
63	TTUS-FS	116	10,5	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	60	260	12	0,9	2000
80	TTUS-FS	116	10,5	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	75	300	11,5	0,8	2450
125	TTUS-FS	116	10,5	$\pm 9 \times 1,78$	$V_{xd11}$	110	455	12,5	0,7	3750

Tabela 3.29

Transformatoare trifazate de putere cu trei înfășurări fabricate în R. S. România

S <sub>n</sub> [MVA]	Tipul	U <sub>n</sub> [kV]			Reglajul [%]		Grupă de conexiuni	Pierderi nominale [kW]		U <sub>sc</sub> [%]			I <sub>0</sub> [%]
		ET	MT	JT	IT	MT		ΔP <sub>0</sub>	ΔP <sub>sc</sub>	IT-MT	IT-JT	MT-JT	
10/10/10	TTUS-NS	110	22	6,3	±9 × 1,78	2 × 2,5	Y <sub>N</sub> Y <sub>n</sub> Od <sub>11</sub>	26	110	10,5	17,5	6	1,5
10/10/10	TTUS-NS	110	22	6,6	±9 × 1,78	2 × 2,5	Y <sub>A</sub> Y <sub>n</sub> Od <sub>11</sub>	26	100	10,5	17,5	6	1,5
10/10/10	TTUS-NS	110	38,5	6,6	±9 × 1,78	2 × 2,5	Y <sub>N</sub> Y <sub>n</sub> Od <sub>11</sub>	26	100	10,5	17,5	6	1,5
10/10/10	TTUS-NS	110	38,5	22	±9 × 1,78	2 × 2,5	Y <sub>N</sub> Y <sub>n</sub> Od <sub>11</sub>	26	100	10,5	17,5	6	1,5
16/10/16	TTUS-NS	110	22(16,5)	6,6	±9 × 1,78	—	Y <sub>N</sub> Y <sub>n</sub> Od <sub>11</sub>	28,5	100	10,5	17,5	6	1,5
16/10/16	TTUS-NS	110	38,5	6,6	±9 × 1,78	2 × 2,5	Y <sub>N</sub> Y <sub>n</sub> Od <sub>11</sub>	28,5	100	10,5	17,5	6	1,5
25/16(12)/25	TTUS-NS	110	22(16,5)	6,3	±9 × 1,78	—	Y <sub>N</sub> d <sub>11</sub> d <sub>11</sub>	40	150	10	17	6	1,2
25/16(12)/25	TTUS-NS	110	22(16,5)	6,6	±9 × 1,78	—	Y <sub>N</sub> d <sub>11</sub> d <sub>11</sub>	40	150	10	17	6	1,2
25/16(12)/25	TTUS-NS	110	22(16,5)	10,5	±9 × 1,78	—	Y <sub>N</sub> Y <sub>n</sub> Od <sub>11</sub>	40	150	10	17	6	1,2
25/16/25	TTUS-NS	110	38,5	6,6	±9 × 1,78	2 × 2,5	Y <sub>N</sub> Y <sub>n</sub> Od <sub>11</sub>	40	150	10	17	6	1,2
25/15/25	TTUS-NS	110	38,5	11,5	±9 × 1,78	2 × 2,5	Y <sub>N</sub> Y <sub>n</sub> Od <sub>11</sub>	40	150	10	17	6	1,2
25/16/25	TTUS-NS	110	38,5	22	±9 × 1,78	2 × 2,5	Y <sub>N</sub> Y <sub>n</sub> Od <sub>11</sub>	40	150	10	17	6	1,2
40/40/40	TTUS-NS	110	10,5	6,3	±9 × 1,78	—	Y <sub>N</sub> d <sub>11</sub> d <sub>11</sub>	55	220	11	16,5	30	1,5

Tabela 3.30

Autotransformatoare de putere cu trei înfășurări, fabricate în R. S. România

S <sub>n</sub> [MVA]	Tipul	U <sub>n</sub> [kV]			Reglajul	Grupă de conexiuni	Pierderi nominale [kW]		U <sub>sc</sub> [%]			I <sub>0</sub> [%]
		ET	MT	JT			ΔP <sub>0</sub>	ΔP <sub>sc</sub>	IT-MT	IT-JT	MT-JT	
100/100/100	ATUS-PS	231	121	10,5	12 × 1,25	Y <sub>N</sub> Y <sub>n</sub> Od5	65	IT-MT 320	10	10	6	0,8
200/200/50	ATUS-PS	231	121	10,5	12 × 1,25	Y <sub>N</sub> Y <sub>n</sub> Od5	105	485	10	10	6	0,8
400/400/160	ATUS-PS	400	231	22	12 × 1,25	Y <sub>N</sub> Y <sub>n</sub> Od5	160	850	11,7	22	13	0,4



În tabelele 3.28, 3.29 și 3.30 sînt date caracteristicile transformatoarelor și autotransformatoarelor fabricate în R.S. România (T — transformator; A — autotransformator; T — trifazat; U — ulei; S — cu reglaj sub sarcină; N — cu răcire; F — cu circulație forțată a uleiului).

### 1. Schemele electrice echivalente ale transformatoarelor trifazate

a) Transformatorul trifazat cu două înfășurări funcționînd în condiții de încărcare simetrică a fazelor, poate fi reprezentat printr-o schemă echivalentă monoînzată în T,  $\pi$  sau  $\Gamma$  — figura 3.11 (în care mărimile și parametrii înfășurării de joasă tensiune au fost raportați la înfășurarea de înaltă tensiune). Notațiile din figură au următoarele semnificații:

$R_r$  este rezistența pe fază a înfășurărilor de înaltă și joasă tensiune;

$X_r$  — reactanța inductivă de dispersie pe fază;

$G_r$  — conductanța pe fază;

$B_r$  — susceptanța inductivă, determinată de pierderile de putere prin curenți de magnetizare.

La transformatoarele coboritoare de tensiune, parametrii  $G_r$  și  $B_r$  se consideră conectați la bornele de înaltă tensiune, iar la transformatoarele ridicătoare la bornele de joasă tensiune.

b) Transformatoarele trifazate cu trei înfășurări.

Transformatoarele cu trei înfășurări pot fi reprezentate prin schemele echivalente din figura 3.12 în care toate elementele sînt raportate la același nivel de tensiune.

Parametrii pot fi de secvență directă, inversă și homopolară.

### 2. Parametrii de secvență directă și inversă

Mărimile electrice care caracterizează schema echivalentă a transformatorului se referă la regimul de încărcare simetric; din această cauză parametrii electrice rezultați din calcule corespund secvenței directe.

Transformatorul fiind o mașină electrică statică, parametrii lui de secvență inversă sînt identici cu cei de secvență directă.

a) Transformatorul trifazat cu două înfășurări

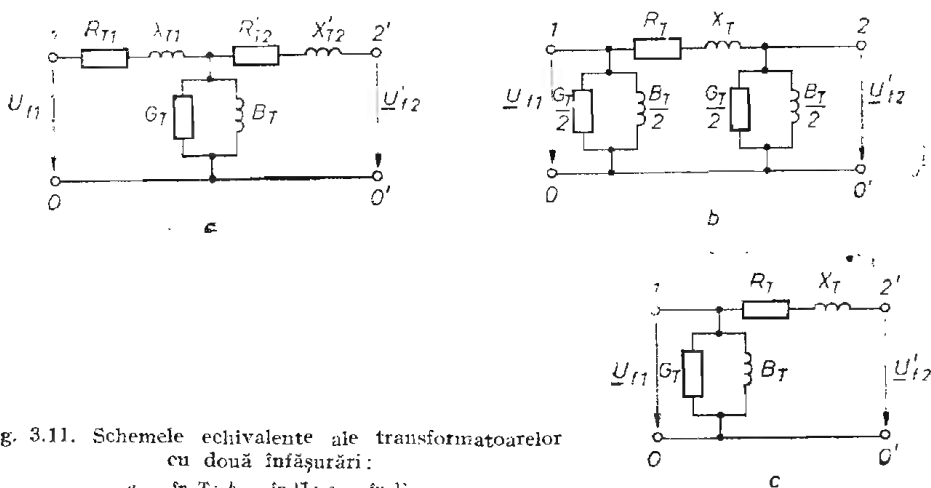


Fig. 3.11. Schemele echivalente ale transformatoarelor cu două înfășurări:

a — în T; b — în  $\pi$ ; c — în  $\Gamma$ .

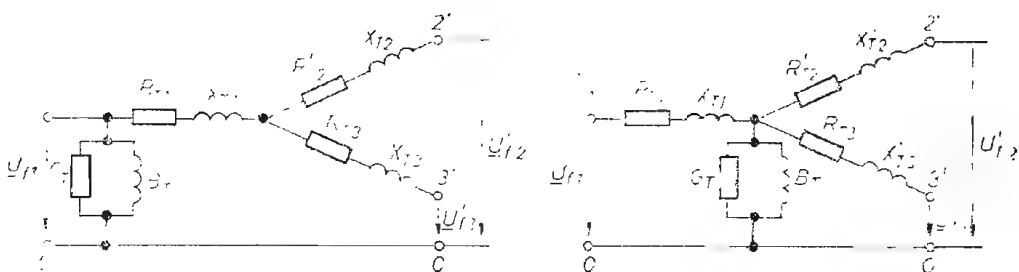


Fig. 3.12. Schemele echivalente ale transformatoarelor cu trei înfășurări:  
a — în Y; b — în stea.

Rezistența echivalentă a transformatorului se determină din puterea activă absorbită de transformator în regim de scurtcircuit și se exprimă prin relația

$$R_T = \frac{\Delta P_{sc} \cdot U_n^2}{S_n^2} \cdot 10^{-3} [\Omega], \quad (3.16)$$

în care:  $\Delta P_{sc}$  sînt pierderile nominale în înfășurări, determinate de regimul de scurtcircuit, în kW;

$U_n$  — tensiunea nominală (de linie) la care se raportează parametrii schemei, în kV;

$S_n$  — puterea aparentă nominală a transformatorului, în MVA.

Reactanța inductivă echivalentă:

$$X_T = \frac{U_{sc} \cdot U_n^2}{100 S_n} [\Omega]. \quad (3.17)$$

în care  $U_{sc}$  este tensiunea de scurtcircuit, în %.

Conductanța:

$$G_T = \frac{\Delta P_0}{100 \cdot U_n^2} [S], \quad (3.18)$$

în care  $\Delta P_0$  sînt pierderile nominale de putere activă în fier la mersul în gol, în kW.

Susceptanța inductivă:

$$B_T = \frac{I_0 \cdot S_n}{100 \cdot U_n} [S], \quad (3.19)$$

în care  $I_0$  este curentul de mers în gol, în %.

b) Transformatorul trifazat cu trei înfășurări

În sistemul energetic se folosesc trei tipuri de transformatoare trifazate de putere cu trei înfășurări, care se deosebesc între ele după puterea fiecărei înfășurări — tabelul 3.31.

Repartizarea puterilor pe înfășurări la transformatoarele cu trei înfășurări

Tipul transformatorului	Puterea nominală a fiecărei înfășurări în procente din puterea nominală a transformatorului		
	IT	MT	JT
I	100	100	100
II	100	100	66,7
	100	66,7	100
III	100	66,7	66,7

Rezistența transformatorului de tipul I:

$$R_T = \frac{\Delta P_{sc} \cdot U_n^2}{2S_n^2} \cdot 10^{-3} [\Omega], \quad (3.20)$$

în care:  $\Delta P_{sc}$  — pierderile nominale în înfășurări, determinate de regimul de scurtcircuit, în kW;

$U_n$  — tensiunea nominală a treptei la care se face raportarea, în kV;

$S_n$  — puterea aparentă nominală a înfășurării cu puterea cea mai mare, în MVA.

La această categorie de transformatoare:

$$R_{T_1} = R'_{T_2} = R'_{T_3} = R_T \quad (3.21)$$

Rezistența transformatorului de tipul II:

$$R_{T_1} = R'_{T_2} = \frac{|\Delta P_{sc} \cdot U_n^2|}{2S_n^2} \cdot 10^{-3} [\Omega]; \quad (3.22)$$

$$R'_{T_3} = 1,5R_{T_1}. \quad (3.23)$$

Pentru determinarea pierderilor de putere  $\Delta P_{sc}$  în înfășurări la această categorie de transformatoare, se consideră că înfășurările de putere mai mare sînt încărcate la sarcină nominală, iar înfășurarea de joasă tensiune funcționează în gol.

Rezistența transformatorului de tipul III:

$$R_{T_1} = \frac{\Delta P_{sc} \cdot U_n^2}{1,83S_n^2} \cdot 10^{-3} [\Omega]; \quad (3.24)$$

$$R'_{T_2} = R'_{T_3} = 1,5R_{T_1}. \quad (3.25)$$

La acest tip de transformator,  $\Delta P_{sc}$  sînt date pentru cazul cînd ele sînt maxime, ceea ce corespunde la următoarele încărcări: 100% IT, 66,7% MT și 66,7% JT.

**Observație.** În cazul transformatoarelor cu trei înfășurări  $R'_{T_1}$ ,  $R'_{T_2}$  și  $R'_{T_3}$ , reprezintă rezistențele celor trei înfășurări raportate la același nivel de tensiune.

Pentru transformatorul cu trei înfășurări sint date în cataloage tensiunile de scurtcircuit, în procente, pe perechi de înfășurări ( $U_{sc1-2}$ ,  $U_{sc2-3}$ ,  $U_{sc1-3}$ ). În acest caz, reactanțele inductive se pot calcula folosind formula de la transformatorul cu două înfășurări:

$$X_{T1-2} = \frac{U_{sc1-2} \cdot U_n^2}{100 S_n} [\Omega]; \quad (3.26)$$

$$X_{T2-3} = \frac{U_{sc2-3} \cdot U_n^2}{100 S_n} [\Omega]; \quad (3.27)$$

$$X_{T1-3} = \frac{U_{sc1-3} \cdot U_n^2}{100 S_n} [\Omega], \quad (3.28)$$

în care:  $U_n$  este tensiunea nominală la care se raportează parametrii transformatorului, în kV;

$S_n$  — puterea aparentă nominală a înfășurării cu puterea cea mai mare, în MVA.

Deoarece:

$$\begin{aligned} X_{T1-2} &= X_{T1} + X_{T2}; \\ X_{T2-3} &= X_{T2} + X_{T3}; \\ X_{T1-3} &= X_{T1} + X_{T3}, \end{aligned} \quad (3.29)$$

rezultă:

$$\begin{aligned} X_{T1} &= \frac{X_{T1-2} + X_{T1-3} - X_{T2-3}}{2}, \\ X_{T2} &= \frac{X_{T2-3} + X_{T1-2} - X_{T1-3}}{2}, \\ X_{T3} &= \frac{X_{T1-3} + X_{T2-3} - X_{T1-2}}{2}. \end{aligned} \quad (3.30)$$

Parametrii transversali, conductanța  $G_T$  și susceptanța inductivă  $B_T$  se calculează ca și la transformatorul cu două înfășurări.

### 3. Parametrii de secvență homopolară

Reactanța de secvență homopolară a transformatoarelor este determinată în mare măsură de construcția și schema de conexiuni a înfășurărilor.

Pentru ca într-un transformator să poată circula curenți de secvență homopolară este necesar ca cel puțin una din înfășurări să fie conectată în stea sau zig-zag cu neutrul legat la pământ; într-o înfășurare conectată în triunghi poate să circule un curent de secvență homopolară, dar acesta rămîne în înfășurare; pentru sistem o astfel de înfășurare reprezintă o înfășurare în scurtcircuit.

În tabelul 3.32 se dau schemele echivalente pentru unele transformatoare, precum și impedențele homopolare ale acestora. Notațiile au următoarele semnificații:

$Z_{A1}$  — impedență homopolară a înfășurări primare;

$Z_{A2}$  — impedența homopolară a înfășurării secundare, raportată la primar;

Tabelul 3.32

**Schemele echivalente de secvență homopolară  
ale transformatoarelor trifazate de putere**

Schema de conexiuni	Schema echivalentă	Impedanțe homopolare pentru transformatoare
		$Z_{h12} = Z_{12}$ $Z_{h10} \approx (4,5 \dots 5,5) Z_{12}$ $Z'_{h20} \approx (4,5 \dots 5,5) Z_{12}$
		$Z_{h12} = -Z'_{h20} = \infty$ $Z_{h10} = Z_{h1} + Z_{hm} \approx (4,5 \dots 5,5) Z_{12}$
		$Z_{h12} = \infty \quad Z'_{h20} = \infty$ $Z_{h10} = Z_{h1} - 4 Z'_{h2} \parallel Z_{hm} =$ $= 0,85 Z_{12} \approx Z_{12}$
		$Z_{h12} = \infty \quad Z_{h10} = \infty$ $Z'_{h20} \approx 0,1 Z_{12}$
		$Z_{h12} = Z_{12} \quad Z_{h13} = \infty$ $Z_{h10} = Z_{h1} + Z_{hm} \parallel Z'_{h3}$ $Z'_{h20} = Z'_{h2} + Z_{hm} \parallel Z'_{h3}$ $Z'_{h23} = Z'_{h30} = \infty$
		$Z_{h12} = Z_{h13} = \infty$ $Z_{h10} = Z_{h1} + Z_{hm} \parallel Z'_{h3}$ $Z'_{h20} = Z'_{h23} = Z'_{h30} = \infty$
		$Z_{h12} = Z_{h2} \quad Z_{h13} = \infty$ $Z_{h10} = Z_{h1} + Z_{hm} \parallel Z'_{h3}$ $Z'_{h20} = Z'_{h2} + Z_{hm} \parallel Z'_{h3}$ $Z'_{h23} = Z'_{h30} = \infty$
		$Z_{h10} = Z_{h1} + Z'_{h2} \parallel Z'_{h3} \parallel Z'_{h0}$ $Z_{h12} = Z_{h13} = \infty$ $Z'_{h20} = Z'_{h23} = Z'_{h30} = \infty$

$Z_{hm}$  — impedanța homopolară mutuală;

$Z_T$  — impedanța transformatorului,

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}.$$

### 3.6.2. PARAMETRII LINIILOR ELECTRICE AERIE NE

Parametrii electrice ai LEA sînt: rezistența  $R_l$ , reactanța  $X_l$ , conduc-  
tanța  $G$ , și susceptanța  $B$ ; pentru unitatea de lungime, considerată pentru  
calculule practice de 1 km, acești parametri au valorile  $R_0$ ,  $X_0$ ,  $G_0$ , și  $B_0$ .

Pentru LEA cu lungimi pînă la 300 km se pot considera, fără a face  
o eroare prea mare, scheme echivalente în  $\pi$  sau  $T$  (fig. 3.13) cu paramet-  
rii concentrați.

Notațiile din figura 3.13 au următoarele semnificații:

$Z_l = R_l + jX_l$  — impedanța liniei — parametru longitudinal;

$Y_l = G_l + jB_l$  — admitanța liniei — parametru transversal al liniei.

Pentru LEA cu tensiunea pînă la 110 kV inclusiv, se poate neglija  
admitanța; în acest caz schema echivalentă va avea forma din figura 3.14.

Rezistența unei faze este

$$R_l = \frac{l}{n} R_0 \quad [\Omega], \quad (3.31)$$

cu

$$R_0 = \rho \frac{1000}{s} \quad [\Omega/\text{km}],$$

în care:  $\rho$  este rezistivitatea materialului conductor, în  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ;

$s$  — secțiunea conductorului, în  $\text{mm}^2$ ;

$l$  — lungimea liniei, în km;

$n$  — numărul de linii în paralel.

**Observații.** 1. STAS 3032—52 și STAS 687—56 prevăd următoarele valori pentru rezis-  
tivitățile liniilor electrice: pentru cupru  $\rho_{Cu} = 18 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ , iar pentru aluminiu  $\rho_{Al} =$   
 $= 29,7 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ .

2. În cazul conductoarelor funie, lungimea firelor componente răsucite este cu (2—4%)  
mai mare decît lungimea conductorului.

3. Valoarea lui  $R_0$  este dată în tabele (tab. 3.33 și 3.34) în funcție de natura materia-  
lului conductor și de secțiunea acestuia.

4. Pentru conductoarele de oțel aluminiu se ia în considerare numai secțiunea de aluminiu.

Reactanța inductivă de secvență directă (egală cu cea de secvență in-  
versă) pe unitatea de lungime a fazei unei linii electrice trifazate cu sim-

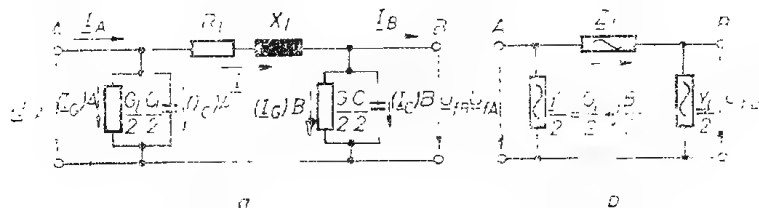


Fig. 3.13. Schemele echivalente ale liniilor electrice aeriene

plu circuit și cu conductoarele complet transpuse, se calculează cu relația :

$$x_0 = 0,1445 \lg \frac{d_m}{r} + 0,0157 \text{ } [\Omega/\text{km}], \quad (3.32)$$

în care:  $d_m$  este distanța medie geometrică a distanțelor între faze,

$$d_m = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}}, \text{ în cm};$$

$r$  — raza exterioră a conductorului, în cm.

Reactanța pe fază a liniei electrice cu lungimea  $l$ , în km, este :

$$X_l = X_0 \cdot l, \quad (3.33)$$

**Observații.** 1. Pentru LEA cu dublu circuit și cu conductoarele complet transpuse [13]

$$X_2 = 0,1445 \lg \frac{d_m' \cdot d_m''}{d_m'' \cdot r} \text{ } [\Omega/\text{km}], \quad (3.34)$$

în care:  $d_m' = \sqrt[3]{d_{12'} \cdot d_{23'} \cdot d_{31'}} \text{ } [\text{cm}];$  (3.35)

$$d_m'' = \sqrt[3]{d_{11'} \cdot d_{22'} \cdot d_{33'}} \text{ } [\text{cm}];$$

cu indicele primu s au notat conductoarele fazelor celui de-al doilea circuit.

2. Pentru LEA cu conductoare jumelate [4]

$$X_0 = 0,1445 \lg \frac{d_m}{r_e}, \quad (3.36)$$

$$r_e = \sqrt[n]{n \cdot r_e \cdot r_T^{n-1}}, \quad (3.37)$$

în care:  $r_e$  este raza echivalentă a conductorului fascicular, în cm;

$n$  — numărul de conductoare care formează conductorul fascicular;

$r_e$  — raza echivalentă medie a conductorului propriu-zis, în cm;

$d_m$  — distanța medie geometrică între faze, în cm;

$r_T$  — are semnificația din figura 3.15.

3. Valoarea lui  $X_0$  este dată în tabelele 3.33 și 3.34 în funcție de natura și secțiunea materialului conductor și de distanța medie geometrică.

**Reactanța de secvență homopolară**, pe unitatea de lungime a unei faze, se calculează cu relația :

$$X_{0h} = 0,4335 \lg \frac{d_p}{r_e} \text{ } [\Omega/\text{km}], \quad (3.38)$$

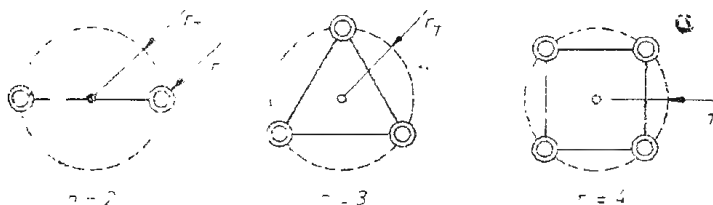


Fig. 3.15. Variante de dispunere a conductoarelor jumelate.

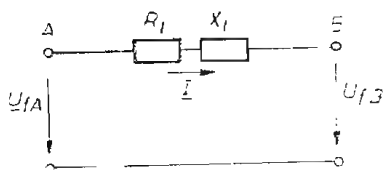


Fig. 3.14. Schema echivalentă simplificată a LEA.

Tabelul 3.33

## Rezistențele și reactanțele LEA cu conductoare din aluminiu

Secțiunea conductorului [mm <sup>2</sup> ]		16	25	35	50	70	95	120	150	185
Rezistența [Ω/km*]		1,97	1,285	0,91	0,645	0,474	0,335	0,266	0,212	0,174
Reactanța, în Ω/km în cazul distanței medii geometrice între conductoare, în mm :	600	0,356	0,345	0,336	0,325	0,315	0,303	0,297	0,288	0,279
	800	0,377	0,363	0,352	0,341	0,331	0,309	0,313	0,305	0,298
	1 000	0,391	0,377	0,366	0,355	0,345	0,341	0,327	0,319	0,311
	1 200	0,405	0,391	0,380	0,365	0,359	0,347	0,341	0,333	0,328
	1 500	—	0,402	0,391	0,380	0,370	0,358	0,352	0,344	0,339
	2 000	—	0,421	0,410	0,398	0,388	0,377	0,368	0,363	0,355
	2 500	—	0,435	0,424	0,413	0,399	0,391	0,382	0,377	—
	3 000	—	0,446	0,435	0,423	0,410	0,401	0,393	0,388	—
	3 500	—	—	0,445	0,433	0,420	0,411	0,403	0,398	—
	4 000	—	—	0,453	0,441	0,428	0,419	0,411	0,406	—

\* Pentru calculul rezistențelor s-a adoptat  $\rho_{Al} = 31,2 \Omega \text{ mm}^2/\text{km}$  întrucât linia este considerată în exploatare.

Tabelul 3.34

## Rezistențele și reactanțele LEA cu conductoare din oțel-aluminiu, construcție normală

Secțiunea conductorului [mm <sup>2</sup> ]		33	50	70	95	120	150	185	240	300	400
Rezistența, Ω/km*		0,91	0,645	0,471	0,346	0,254	0,209	0,170	0,134	0,105	0,079
Reactanța, în Ω/km, în cazul distanței medii geo- metrice în tre conduc- toare, în mm :	1 500	0,385	0,374	0,264	0,353	0,347	0,340	—	—	—	—
	2 000	0,403	0,392	0,382	0,371	0,365	0,358	—	—	—	—
	2 500	0,417	0,406	0,396	0,385	0,379	0,372	0,365	0,357	—	—
	3 000	0,429	0,418	0,408	0,397	0,391	0,384	0,377	0,369	—	—
	3 500	0,438	0,427	0,417	0,406	0,400	0,398	0,386	0,378	—	—
	4 000	0,446	0,435	0,425	0,414	0,408	0,401	0,394	0,386	—	—
	1 000	—	—	0,433	0,422	0,416	0,409	0,402	0,394	—	—
	5 000	—	—	0,440	0,429	0,423	0,416	0,409	0,401	—	—
	5 500	—	—	0,446	0,435	0,429	0,422	0,415	0,407	0,399	0,391
	6 000	—	—	—	—	—	—	—	0,413	0,405	0,397
	6 500	—	—	—	—	—	—	—	—	0,416	0,402
	7 000	—	—	—	—	—	—	—	—	0,414	0,406
	7 500	—	—	—	—	—	—	—	—	0,418	0,410

\* Pentru calculul rezistențelor s-a adoptat  $\rho_{Al} = 31,2 \Omega \text{ mm}^2/\text{km}$ , întrucât linia este considerată în exploatare.



în care:  $d_s$  este distanța între conductorul fazei considerate și calea de întoarcere a curentului prin pământ:

$$d_s = \frac{0,2085}{\sqrt{f \cdot \gamma \cdot 10^{-9}}} \text{ [cm]};$$

$f$  — frecvența, în Hz;

$\gamma$  — conductivitatea pământului

( $\gamma = 10^{-5}$  S/km pt. pământ uscat,

$\gamma = 10^{-4}$  S/km pt. pământ umed);

$\varphi_s = \sqrt[3]{r_c \cdot d_m^2}$  — raza medie geometrică a sistemului, în cm;

$r_s$  — raza echivalentă medie a conductorului, în cm.

Pentru a evita calculul reactanțelor de secvență homopolară care este destul de complex, se pot admite următoarele valori aproximative:

— pentru LEA simplu circuit de 35, 110 și 220 kV

$$X_{0h} = (3 \div 4) X_0; \quad (3.39)$$

— pentru LEA dublu circuit de 35, 110 și 220 kV

$$X_{0h} = (6 \div 7) X_0, \text{ pentru un circuit.}$$

Reactanța homopolară a liniei este

$$X_{0h} = X_{0h} \cdot l \text{ } [\Omega].$$

În tabelul 3.35 se dau valorile reactanțelor de secvență homopolară pentru diverse variante constructive, în funcție de reactanța directă.

Tabelul 3.35

Valorile reactanțelor de secvență homopolară  $X_{0h}$  în funcție de reactanțele directe  $X_0$ , pentru diverse variante constructive ale liniei

Tipul liniei	Reactanța homopolară
Linie cu un singur circuit, fără conductor de protecție	$X_{0h} = 3,5 X_0$
Linie cu un singur circuit, cu conductor de protecție din cupru sau din aluminiu	$X_{0h} = 2 X_0$
Linie cu un singur circuit, cu conductor de protecție din oțel	$X_{0h} = 3 X_0$
Linie cu două circuite fără conductor de protecție	$X_{0h} = 5,5 X_0$
Linie cu două circuite cu conductor de protecție din cupru sau din aluminiu	$X_{0h} = 3 X_0$
Linie cu două circuite cu conductor de protecție din oțel	$X_{0h} = 4,7 X_0$

Observații. 1. În cazul sistemului homopolar de curenți, apare un flux magnetic resultant mare, care induce în conductorul de protecție un curent suficient de mare; acest curent fiind de sens contrar celui de linie, fluxul resultant scade și deci scade și reactanța homopolară a liniei;

2. În LEA cu conductoare de protecție din oțel, reactanța homopolară este redusă în mică măsură, aproximativ cu 10%; practic se poate considera că la aceste linii reactanța

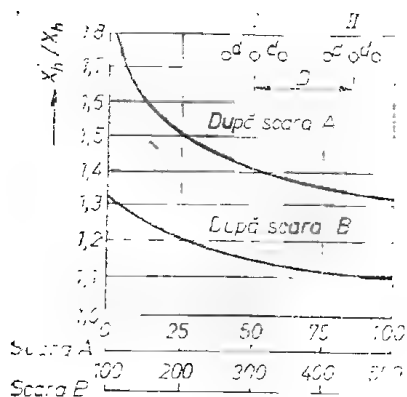


Fig. 3.16. Variația reactanței homopolare a fazei unei linii electrice cu dublu circuit în funcție de distanța dintre circuite.

homopolară nu este influențată de prezența conductoarelor de protecție;

3. La LEA cu dublu circuit, în calculul lui  $X_{h0}$  se ține seama și de prezența celui de-al doilea circuit. În figura 3.16, se reprezintă variația reactanței homopolare a unei faze în funcție de distanța dintre circuite.

Conductanța LEA este determinată de pierderile de putere activă în dielectric pe cale transversală. Aceste pierderi sînt condiționate atît de gradul de imperfecțiune al izolației, cît și de efectul corona.

Conductanța determinată de imperfecțiunea izolației este practic neglijabilă. Se ia în considerare conductanța determinată de pierderile de putere activă prin efectul corona. Efectul corona apare atunci cînd intensitatea cîmpului

electric din apropierea conductoarelor depășește mărimea rigidității dielectrice a aerului, care se consideră de 21,1 kV/cm.

Tensiunea de la care apare efectul corona se numește tensiune critică  $U_{cr}$ ; pentru LEA cu tensiunea pînă la 220 kV se folosește următoarea formulă:

$$U_{cr} = 84 m_1 \cdot m_2 \cdot \delta \cdot r \cdot \lg \frac{d_m}{r} \quad [\text{kV}], \quad (3.40)$$

în care:  $m_1$  este un coeficient care ține seama de starea suprafeței conductorului;  $m_1 = 0,88 \div 0,98$  pentru conductoare monofilare și  $0,72 \div 0,89$  pentru conductoare multifilare;

$m_2$  — coeficient ce ține cont de starea atmosferică;  $m_2 = 1$  pentru timp frumos și 0,8 pentru timp umed;

$\delta$  — coeficient care ține seama de densitatea relativă a aerului:  $\delta = \frac{3,92b}{273 + t}$ ;

$b$  — presiunea atmosferică, în cm col. Hg;

$t$  — temperatura aerului, în  $^{\circ}\text{C}$ ;

$d_m$  — distanța medie geometrică dintre conductoare, în cm;

$r$  — raza exterioară a conductorului, în cm.

Pentru determinarea pierderilor de putere activă  $\Delta P$ , pe km și fază, prin efectul corona, se folosește formula lui Peek:

$$\Delta P_0 = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{d_m}} (U_n - U_{cr})^2 \cdot 10^{-5} \quad [\text{kW/km}], \quad (3.41)$$

în care:  $f$  este frecvența, în Hz;

$U_n, U_{cr}$  — tensiunile între faze, în kV.

Corespunzător pierderilor prin efect corona, linia prezintă o conductanță de valoare:

$$G_0 = \frac{\Delta P_0}{U_n^2}, \text{ [S/km]}, \quad (3.42)$$

în care  $\Delta P_0$  sînt pierderile prin efect corona, în MW.

Conductanța întregii linii:

$$G_l = G_0 \cdot l \text{ [S]} \quad (3.43)$$

în care:  $l$  este lungimea liniei, în km.

Observații. 1. În proiectare, efectul corona se verifică începînd cu tensiunea de 60 kV.

2. Efectul corona apare cînd  $U_n > U_{cr}$ .

3. Formula (3.40) se aplică numai conductoarelor situate în vîrfurile unui triunghi echilateral.

4. La așezarea conductoarelor în același plan, tensiunea critică a conductorului din mijloc este cu 4% mai mică ( $0,96 U_{cr}$ ) iar a celor externe cu 6% mai mare ( $1,06 U_{cr}$ ), decît cea calculată cu relația (3.40).

5. În calculele practice, tensiunile critice pe fază se calculează pentru timpul defavorabil ( $m_0 = 0,8$ ).

Susceptanța capacitivă de secvență directă sau inversă pe unitatea de lungime a unei faze se calculează cu relația:

$$B_0 = \frac{7,58}{1 + \frac{d_m}{r}} \cdot 10^{-6} \text{ [S/km]}, \quad (3.44)$$

în care:  $d_m = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}}$ , este distanța medie geometrică între cele trei conductoare, în cm;

$r$  — raza conductorului, în cm.

Susceptanța capacitivă a liniei este

$$B_l = B_0 \cdot l \text{ [S]}. \quad (3.45)$$

Întrucît linia este un element pasiv, susceptanța capacitivă de secvență homopolară a unei faze se calculează cu relația [4]

$$B_{0h} = \frac{2,53}{1 + \frac{2r_m}{r_{ech}}} \cdot 10^{-6} \text{ [S/km]}, \quad (3.46)$$

în care:  $h_m = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3}$ , este distanța medie a conductoarelor active față de sol, în cm;

$r_{ech} = \sqrt[3]{r \cdot d_m^2}$  — raza conductorului echivalent celor trei conductoare de fază, în regim homopolar, în cm.

Susceptanța capacitivă de secvență homopolară pe fază a liniei electrice cu lungimea  $l$  este:

$$B_{lh} = B_{0h} \cdot l \text{ [S]}. \quad (3.47)$$

**Observații.** 1. Înălțimile  $h_1, h_2, h_3$  sînt date în funcție de înălțimile  $H_1, H_2, H_3$  ale punctelor de suspenzie ale conductoarelor pe stîlp:

$$\begin{aligned} h_1 &= H_1 - 0,7 f; \\ h_2 &= H_2 - 0,7 f; \\ h_3 &= H_3 - 0,7 f. \end{aligned} \quad (3.48)$$

în care  $f$  este săgeata conductorului, în cm.

2. În cazul în care linia are conductoare fasciculare, susceptanța capacitivă se calculează tot cu relația (3.44), în care se înlocuiește  $r$  cu  $\rho_r$  (relația 3.37).

3. Pentru linii trifazate cu dublu circuit și cu conductoarele complet transpuse

$$B_0 = \frac{7,58}{\lg \frac{d_m \cdot d_m''}{r \cdot d_m''}} \cdot 10^{-6} \text{ [S/km]}, \quad (3.49)$$

în care:  $d_m, d_m'$  și  $d_m''$  au semnificația din relația (3.41), iar

$$B_{0h} = \frac{7,58}{\lg \frac{(2h_m)^3}{r \cdot d_m^3} \cdot \frac{d_m''^3}{d_m'' \cdot d_m'^2}} \cdot 10^{-6} \text{ [S/km]}, \quad (3.50)$$

în care  $d_m''' = \sqrt[3]{d_{12}' \cdot d_{23}' \cdot d_{31}'}$ , este distanța medie între conductoarele circuitului 1 și imaginile față de sol ale conductoarelor.

### 3.6.3. PARAMETRII ELECTRICI AI LINIILOR ÎN CABLU

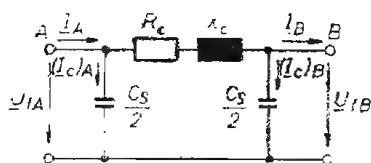
Parametrii electrici ai liniilor electrice în cablu sînt:

- rezistența  $R_0$ , în  $\Omega/\text{km}$  și  $R_c$ , în  $\Omega$ ;
- reactanța inductivă  $X_0$ , în  $\Omega/\text{km}$  și  $X_c$ , în  $\Omega$ ;
- conductanța  $G_0$ , în S/km și  $G_c$ , în S;
- susceptanța capacitivă  $B_0$ , în S/km și  $B_c$ , în S.

Schema electrică echivalentă a linii electrice în cablu este asemănătoare cu cea a LEA. Deoarece conductanța este cu mult mai mică decît susceptanța capacitivă a cablului, aceasta se poate neglija, iar schema echivalentă devine cea din figura 3.17.

Rezistența se determină în principiu ca și la conductoarele LEA; variația rezistenței electrice, în urma modificării temperaturii este mai accentuată, avînd în vedere posibilitățile mai reduse de evacuare a pierderilor Joule-Lenz sau dielectrice-tabelul 3.36.

Reactanța inductivă de secvență directă sau inversă este



$$X_0 = 0,1445 \lg \frac{d_m}{r} \text{ [}\Omega/\text{km]}, \quad (3.51)$$

Fig. 3.17. Schema echivalentă a unei linii electrice în cablu.

în care  $d_m$  și  $r$  au semnificațiile relației (3.35).

Rezistența în curent continuu a conductoarelor de cupru și aluminiu, în  $[\Omega/\text{km}]$ , în funcție de temperatura conductorului

Secțiunea conductorului [mm <sup>2</sup> ]	Temperatura conductorului											
	29 °C		25 °C		30 °C		35 °C		40 °C		45 °C	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
1,5	11,9	—	12,1	—	12,4	—	12,6	—	12,8	—	13,0	—
2,5	7,14	12,1	4,55	12,3	7,42	12,6	7,56	12,8	7,70	13,0	7,84	13,3
4	4,46	7,58	7,28	7,73	4,63	7,88	4,72	8,04	4,81	8,19	4,90	8,34
6	2,98	5,05	3,03	5,15	3,09	5,25	3,15	5,35	3,21	5,45	3,27	5,58
10	1,79	3,03	1,82	3,09	1,86	3,15	1,89	3,21	1,92	3,27	1,96	3,33
16	1,12	1,89	1,14	1,93	1,16	1,97	1,81	2,00	1,20	2,04	1,22	2,08
25	0,714	1,21	0,728	1,23	0,742	1,26	0,765	1,28	0,77	1,31	0,784	1,33
35	0,510	0,866	0,52	0,883	0,530	0,90	0,54	0,918	0,55	0,935	0,56	0,95
50	0,357	0,606	0,364	0,618	0,371	0,63	0,378	0,642	0,385	0,654	0,392	0,667
70	0,255	0,433	0,26	0,442	0,265	0,45	0,27	0,459	0,275	0,468	0,28	0,476
95	0,188	0,319	0,192	0,325	0,195	0,332	0,199	0,338	0,203	0,345	0,206	0,351
120	0,149	0,253	0,152	0,258	0,158	0,263	0,158	0,268	0,161	0,273	0,163	0,278
150	0,119	0,202	0,121	0,206	0,124	0,21	0,126	0,214	0,128	0,218	0,131	0,222
185	0,097	0,164	0,098	0,167	0,10	0,171	0,102	0,174	0,104	0,177	0,106	0,180
240	0,074	0,126	0,076	0,129	0,077	0,131	0,079	0,134	0,08	0,136	0,082	0,139
300	0,0565	0,101	0,0607	0,103	0,0618	0,105	0,0630	0,107	0,0641	0,109	0,0653	0,111
400	0,0446	0,0758	0,0455	0,0773	0,0463	0,0788	0,0472	0,0804	0,0481	0,0919	0,0489	0,0834



Tabelul 3.37

Reactanța inductivă a cablurilor cu izolație de hirtie, în manta, cu 3/neutru și 4 conductoare, tensiunea de 0,6/1 kV

Numărul și secțiunea conductorului	$X_0$ [ $\Omega/\text{km}$ ]	Numărul și secțiunea conductorului	$X_0$ [ $\Omega/\text{km}$ ]	Numărul și secțiunea conductorului	$X_0$ [ $\Omega/\text{km}$ ]
3×26/16	0,292	3×240/120	0,082	4×95	0,086
3×35/16	0,090	3×300/150	0,081	4×120	0,085
3×50/25	0,087	3×400/185	0,080	4×150	0,086
3×70/25	0,085	4×16	0,099	4×185	0,085
3×95/50	0,084	4×25	0,094	4×240	0,084
3×120/70	0,083	4×35	0,092	4×300	0,084
3×150/70	0,084	4×50	0,090	4×400	0,083
3×185/95	0,083	4×70	0,087	—	—

În tabelele 3.37, 3.38, 3.39 și 3.40 sînt date valorile lui  $X_0$  în funcție de secțiunea conductorului, tipul constructiv al cablului și tensiunea nominală dată sub forma raportului  $U_{af}/U_n$ .

Tabelul 3.38

Reactanța inductivă a cablurilor în manta, cu trei conductoare, tensiunea de 0,6/1...5,8/10 kV

Numărul și secțiunea conductorului [mm²]	0,6/1 kV	3,5/6 kV	5,8/10 kV	Numărul și secțiunea conductorului [mm²]	0,6/1 kV	3,5/6 kV	5,8/10 kV
	$X_0$ [ $\Omega/\text{km}$ ]	$X_0$ [ $\Omega/\text{km}$ ]	$X_0$ [ $\Omega/\text{km}$ ]		$X_0$ [ $\Omega/\text{km}$ ]	$X_0$ [ $\Omega/\text{km}$ ]	$X_0$ [ $\Omega/\text{km}$ ]
3×6	0,102	0,144	—	3×95	0,077	0,093	0,093
3×10	0,095	0,133	0,142	3×120	0,077	0,091	0,095
3×16	0,090	0,123	0,132	3×150	0,077	0,088	0,092
3×25	0,086	0,111	0,122	3×185	0,076	0,086	0,090
3×35	0,083	0,106	0,112	3×240	0,076	0,085	0,088
3×50	0,081	0,100	0,106	3×300	0,075	0,083	0,086
3×70	0,079	0,096	0,101	3×400	0,075	0,084	—

Tabelul 3.39

Reactanța inductivă a cablurilor ecranate de 3,5/6 kV și 5,8/10 kV

Numărul și secțiunea conductorului (mm <sup>2</sup> )	3,5/6 kV	5,8/10 kV	Numărul și secțiunea conductorului (mm <sup>2</sup> )	3,5/6 kV	5,8/10 kV
	$X_0$ [Ω/km]	$X_0$ [Ω/km]		$X_0$ [Ω/km]	$X_0$ [Ω/km]
$3 \times 10r_e$	0,134	0,143	$3 \times 700r_m$ sau $s_m$	0,096	0,102
$3 \times 16r_e$ sau $s_e$	0,124	0,132	$3 \times 95r_m$ sau $s_m$	0,092	0,098
$3 \times 25r_e$ sau $s_e$	0,116	0,123	$3 \times 120r_m$ sau $s_m$	0,090	0,094
$3 \times 35r_e$ sau $s_e$	0,110	0,118	$3 \times 120r_m$ sau $s_m$	0,088	0,092
$3 \times 25r_m$ sau $s_m$	0,111	0,118	$3 \times 185r_m$ sau $s_m$	0,086	0,091
$3 \times 35r_m$ sau $s_m$	0,106	0,113	$3 \times 240r_m$ sau $s_m$	0,084	0,088
$3 \times 50r_m$ sau $s_m$	0,100	0,107	$3 \times 300r_m$ sau $s_m$	0,083	0,086

Reactanța de secvență homopolară a cablurilor nearmate, este dată de relația [5]

$$X_{0h} = 0,4335 \lg \frac{d_p}{r_e} \quad [\Omega/\text{km}]. \quad (3.52)$$

Conductanța este determinată de pierderile de putere ce au loc în dielectricul ce constituie izolația cablului și sînt caracterizate de tangenta unghiului de pierderi

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_c}, \quad (3.53)$$

în care  $I_a$  este curentul activ al cablului, iar  $I_c$  — curentul capacitiv, în A.  $\operatorname{tg} \delta$  are valori de 0,002 ... 0,008, pe care le păstrează pînă la tensiunea de 1,5 U<sub>n</sub>.

Tabelul 3.40

Reactanța inductivă a cablurilor ecranate de 11,206/20 kV și 17,3/30 kV

Numărul și secțiunea conductorilor (mm <sup>2</sup> )	11,2/20 kV	17,3/30 kV	Numărul și secțiunea conductorilor (mm <sup>2</sup> )	11,2/20 kV	17,3/30 kV
	$X_0$ [Ω/km]	$X_0$ [Ω/km]		$X_0$ [Ω/km]	$X_0$ [Ω/km]
$3 \times 16r_e$	—	—	$3 \times 120r_m$ sau $s_m$	0,350	0,121
$3 \times 25r_e$	0,470	—	$3 \times 150r_m$ sau $s_m$	0,340	0,116
$3 \times 35r_e$	0,445	0,154	$3 \times 185r_m$ sau $s_m$	0,330	0,118
$3 \times 50r_m$ sau $s_m$	0,400	0,138	$3 \times 240r_m$ sau $s_m$	0,320	0,108
$3 \times 70r_m$ sau $s_m$	0,380	0,130	$3 \times 300r_m$ sau $s_m$	0,310	0,105
$3 \times 95r_m$ sau $s_m$	0,360	0,125	—	—	—

Notațiile din tabelele de mai sus au următoarele semnificații:

- $r_e$  — conductor rotund monofilar;
- $r_m$  — conductor rotund multifilar;
- $s_e$  — conductor sector monofilar;
- $s_m$  — conductor sector multifilar;
- $r_{mo}$  — conductor rotund, împletit, comprimat în timpul împletirii.



Pierderile de putere activă în dielectricul cablului pe unitatea de lungime se calculează cu relația :

$$\Delta P_0 = 2\pi f \cdot U_n^2 \cdot S_{s0} \cdot \operatorname{tg} \delta \text{ [W/km]}, \quad (3.54)$$

în care:  $U_n$  este tensiunea nominală de linie a cablului, în V;  
 $C_{s0}$  — capacitatea de serviciu a cablului, în F/km.

Pentru cabluri obișnuite, cu izolația de hîrtie, la tensiuni pînă la 35 kV, aceste pierderi au valori neglijabile; în schimb la cabluri de 110 ÷ 220 kV, pierderile în izolație pot avea valori pînă la 10 kW/km de linie și vor trebui luate în considerare.

Conductanța cablului se determină cu relația :

$$G_0 = \frac{\Delta P_0}{U_n^2} \text{ [S/km]}. \quad (3.55)$$

Susceptanța capacitivă se calculează cu relația

$$B_0 = \omega \cdot C_{s0} \cdot 10^{-9} \text{ [S/km]}. \quad (3.56)$$

În cazul liniilor în cablu, capacitatea este mult mai mare decît la LEA și din acest motiv curenții capacitivi la liniile în cablu trebuie luați în considerare de la tensiunea de 10 kV.

Curentul capacitiv datorat susceptanței capacitivă este

$$I_c = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot B_0 \text{ [A/km]}. \quad (3.57)$$

În tabelele 3.41, 3.42, 3.43 și 3.44 sînt indicate valorile capacităților de serviciu pentru diferite tipuri constructive de cabluri și tensiuni.

Tabelul 3.41

Capacitatea de serviciu a cablurilor în manta cu izolație de hîrtie, tensiune 0,6/1 kV

Secțiunea conductoarelor [mm <sup>2</sup> ]	Capacitatea de serviciu [μF/km]	Secțiunea conductoarelor [mm <sup>2</sup> ]	Capacitatea de serviciu [μF/km]
2 × 1,4r <sub>e</sub>	0,105	3 × 6r <sub>e</sub>	0,295
2 × 2,5r <sub>e</sub>	0,125	3 × 10r <sub>e</sub>	0,355
2 × 4r <sub>e</sub>	0,140	3 × 16r <sub>e</sub>	0,390
2 × 6r <sub>e</sub>	0,155	3 × 16r <sub>m</sub>	0,520
2 × 10r <sub>e</sub>	0,180	3 × 25r <sub>m</sub>	0,560
2 × 16r <sub>e</sub>	0,200	3 × 35s <sub>m</sub>	0,630
2 × 25s <sub>m</sub>	0,325	3 × 50s <sub>m</sub>	0,820
2 × 35s <sub>m</sub>	0,350	3 × 70s <sub>m</sub>	0,910
2 × 50s <sub>m</sub>	0,400	3 × 95s <sub>m</sub>	1,040
2 × 70s <sub>m</sub>	0,470	3 × 120s <sub>m</sub>	1,160
2 × 95s <sub>m</sub>	0,540	3 × 150s <sub>m</sub>	1,110
2 × 120s <sub>m</sub>	0,600	3 × 185s <sub>m</sub>	1,210
3 × 15r <sub>e</sub>	0,195	3 × 240s <sub>m</sub>	1,180
3 × 2,5r <sub>e</sub>	0,225	3 × 300s <sub>m</sub>	1,290
3 × 4r <sub>e</sub>	0,270	—	—

Notă. Valorile indicate pentru cablurile cu trei conductoare se pot aplica și pentru cablurile cu 3/neutral și 4 conductoare.

Tabelul 3.42

Capacitatea de serviciu a conductorului și curentul capacitiv la sarcină trifazată simetrică pentru cabluri în manta, cu izolație de hirtie, pentru tensiunile 3,5,6 kV până la 11,6/20 kV

Tensiunea nominală	Numărul și secțiunea conductoarelor [mm <sup>2</sup> ]	Capacitatea de serviciu [μF/km]	Curentul capacitiv [A/km]	Tensiunea nominală	Numărul și secțiunea conductoarelor [mm <sup>2</sup> ]	Capacitatea de serviciu [μF/km]	Curentul capacitiv [A/km]
3,5/6 kV	3 × 10r <sub>e</sub>	0,19	0,207	5,8/10 kV	3 × 35s <sub>m</sub>	0,29	0,525
	3 × 16r <sub>e</sub>	0,215	0,234		3 × 50s <sub>m</sub>	0,35	0,634
	3 × 25r <sub>e</sub>	0,255	0,278		3 × 70s <sub>m</sub>	0,385	0,700
	3 × 25s <sub>e</sub>	0,275	0,300		3 × 95s <sub>m</sub>	0,43	0,780
	3 × 35s <sub>e</sub>	0,33	0,360		3 × 120s <sub>m</sub>	0,46	0,833
	3 × 25s <sub>e</sub>	0,285	0,311		3 × 150s <sub>m</sub>	0,54	0,930
	3 × 35s <sub>e</sub>	0,33	0,360		3 × 185s <sub>m</sub>	0,56	1,010
	3 × 50s <sub>m</sub>	0,385	0,420		3 × 240s <sub>m</sub>	0,67	1,211
	3 × 70s <sub>m</sub>	0,44	0,480		3 × 300s <sub>m</sub>	0,69	1,250
	3 × 95s <sub>m</sub>	0,47	0,512	11,6/20 kV	3 × 25r <sub>e</sub>	0,165	0,390
	3 × 120s <sub>m</sub>	0,55	0,600		3 × 35sr <sub>e</sub>	0,18	0,652
	3 × 150s <sub>m</sub>	0,58	0,630		3 × 50r <sub>e</sub>	0,20	0,725
	3 × 185s <sub>m</sub>	0,66	0,720		5 × 70r <sub>e</sub>	0,24	0,870
	3 × 240s <sub>m</sub>	0,71	0,775		3 × 95s <sub>m</sub>	0,26	0,943
	3 × 300s <sub>m</sub>	0,74	0,805		3 × 120s <sub>m</sub>	0,29	1,050
	3 × 10r <sub>e</sub>	0,165	0,300		3 × 150s <sub>m</sub>	0,31	1,120
	3 × 16r <sub>e</sub>	0,20	0,362		3 × 185s <sub>m</sub>	0,33	1,200
	3 × 25r <sub>e</sub>	0,23	0,416		3 × 240s <sub>m</sub>	0,37	1,340
	3 × 25r <sub>e</sub>	0,26	0,470		—	—	—
5,8/10 kV	—	—	—		—	—	—
	—	—	—		—	—	—
	—	—	—		—	—	—
	—	—	—		—	—	—

Tabelul 3.43

Capacitatea de serviciu a conductorului și curentul capacitiv la sarcină trifazată simetrică, pentru cabluri cu circulație internă de ulei de 110 și 220 kV

Secțiunea conductorului [mm <sup>2</sup> ]	110 kV		220 kV	
	Capacitatea de serviciu [μF/km]	Curentul capacitiv [A/km]	Capacitatea de serviciu [μF/km]	Curentul capacitiv [A/km]
185	0,27	5,4	0,186	7,42
240	0,29	5,8	0,195	7,78
300	0,31	6,2	0,204	8,15
400	0,35	7,0	0,218	8,70
500	0,37	7,4	0,245	9,77
620	0,43	8,5	0,259	10,35
800	0,46	9,2	0,279	11,10
1000	0,50	9,9	0,295	11,8
1400	0,62	12,4	—	—

Tabelul 3.44

Capacitatea de serviciu a conductorului și curentul capacitiv la sarcină trifazăată simetrică pentru cabluri cu cimp radial ecranate, cu izolație de hirtie, pentru tensiunile 3,5-6 până la 11,6/20 kV

Tensiunea nominală	Numărul și secțiunea conductorilor (mm <sup>2</sup> )	Capacitatea de serviciu (pF/km)	Curentul capacitiv (A/km)	Tensiunea nominală	Numărul și secțiunea conductorilor (mm <sup>2</sup> )	Capacitatea de serviciu (pF/km)	Curentul capacitiv (A/km)
3,5/6 kV	3 × 6r <sub>s</sub>	0,20	0,22	5,8/10 kV	3 × 95r <sub>as</sub>	0,48	0,87
	3 × 10r <sub>s</sub>	0,23	0,25		3 × 120r <sub>m</sub>	0,53	0,96
	3 × 16r <sub>s</sub> sau s <sub>e</sub>	0,27	0,29		3 × 150r <sub>m</sub>	0,58	1,05
	3 × 25r <sub>e</sub> sau s <sub>e</sub>	0,32	0,35		3 × 185r <sub>m</sub>	0,635	1,15
	3 × 35r <sub>s</sub> sau s <sub>s</sub>	0,36	0,39		3 × 240r <sub>m</sub>	0,715	1,30
	3 × 25r <sub>m</sub> sau s <sub>m</sub>	0,335	0,37		3 × 300r <sub>s</sub>	0,79	1,43
	3 × 35r <sub>m</sub> sau s <sub>m</sub>	0,38	0,41		3 × 25r <sub>m</sub>	0,22	0,80
	3 × 50r <sub>m</sub> sau s <sub>m</sub>	0,44	0,48	11,6/20 kV	3 × 35	0,245	0,89
	3 × 70r <sub>m</sub> sau s <sub>m</sub>	0,50	0,54		3 × 35r <sub>m</sub>	0,265	0,96
	3 × 95r <sub>m</sub> sau s <sub>m</sub>	0,565	0,61		3 × 50r <sub>m</sub>	0,30	1,09
	3 × 120r <sub>m</sub> sau s <sub>m</sub>	0,625	0,68		3 × 70r <sub>m</sub>	0,335	1,22
	3 × 150r <sub>m</sub> sau s <sub>m</sub>	0,69	0,75		3 × 95r <sub>m</sub>	0,37	1,31
	3 × 185r <sub>m</sub> sau s <sub>m</sub>	0,76	0,83		3 × 120r <sub>m</sub>	0,405	1,47
	3 × 240r <sub>m</sub> sau s <sub>m</sub>	0,86	0,93		3 × 150r <sub>m</sub>	0,445	1,61
	3 × 300r <sub>m</sub> sau s <sub>m</sub>	0,95	1,03		3 × 185r <sub>m</sub>	0,48	1,74
5,8/10 kV	3 × 10r <sub>s</sub>	0,205	0,37		3 × 240r <sub>m</sub>	0,53	1,39
	3 × 16r <sub>s</sub>	0,24	0,44		3 × 300r <sub>m</sub>	0,58	2,10
	3 × 25r <sub>s</sub>	0,275	0,50		3 × 70r <sub>m</sub> /3f	0,325	1,18
	3 × 35r <sub>s</sub>	0,315	0,57		3 × 95r <sub>s</sub> /3f	0,35	1,27
	3 × 25r <sub>m</sub>	0,29	0,53		3 × 120r <sub>s</sub> /3f	0,375	1,36
	3 × 35r <sub>m</sub>	0,325	0,59		3 × 150r <sub>s</sub> /3f	0,405	1,47
	3 × 50r <sub>m</sub>	0,375	0,68		3 × 185r <sub>s</sub> /3f	0,44	1,60
	3 × 70r <sub>m</sub>	0,43	0,78		3 × 240r <sub>s</sub> /3f	0,485	1,76

Observație — r<sub>s</sub>/3f — miezul conductor compus din trei conductoare sub formă de sector și acoperit cu un strat de sîmă plată profilată.

### 3.6.4. PIERDERILE DE PUTERE, ENERGIE ȘI TENSIUNE ÎN LINIILE ELECTRICE TRIFAZATE

Nivelul pierderilor de energie în rețele variază între 10% și 15% din energia produsă în centrale, în funcție de structura rețelei, de condițiile de exploatare etc.

În rețelele electrice cu tensiuni nominale până la 60 kV, pierderile de energie sînt datorate aproape exclusiv încărcării conductoarelor la trecerea curentului electric. La tensiuni nominale de 110 kV sau mai ridicate, se mai adaugă și pierderile datorate scurgerilor de curent în izola-

fie și prin efect corona. Acestea din urmă însă au valori reduse și pot fi neglijate încă din faza de proiectare a rețelelor, prin alegerea corespunzătoare a diametrului conductoarelor și a nivelului de tensiune.

Reducerea pierderilor de energie trebuie să fie o preocupare permanentă a celor care proiectează și exploatează instalațiile electrice de transport, distribuție și utilizare la consumator.

Determinarea pierderilor de energie electrică se va face ținând seama de variația în timp a sarcinii consumatorilor.

Pentru determinarea *duratei pierderilor maxime*  $\tau$ , se utilizează curba de variație a pătratului curentului cerut de consumator. Suprafața delimitată de această curbă și axele de coordonate reprezintă la o anumită scară, cantitatea de energie pierdută în intervalul de timp  $t_c$ . Dacă transportul energiei electrice s-ar fi făcut la o sarcină constantă egală cu sarcina maximă permanentă  $I_M$ , aceeași cantitate de energie s-ar fi putut pierde într-un interval de timp mai redus  $\tau$ , adică:

$$\int_0^{t_c} I^2 \cdot dt = I_M^2 \cdot \tau, \quad (3.58)$$

de unde rezultă:

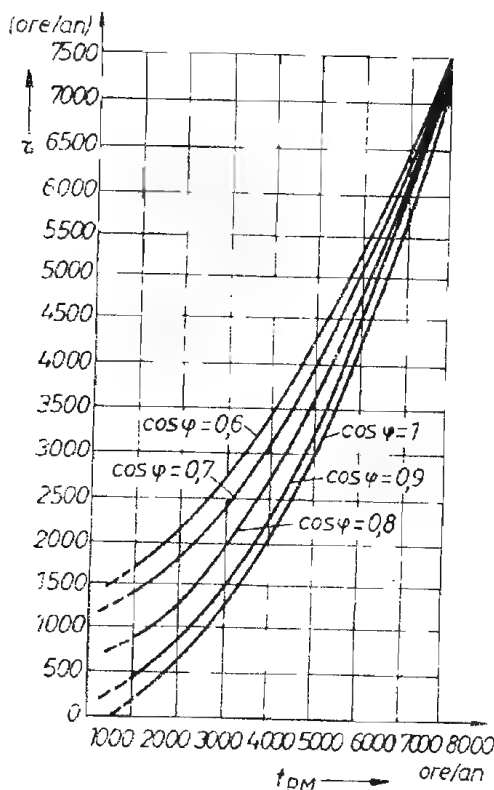


Fig. 3.18. Variația timpului de pierderi  $\tau$  în funcție de durata de utilizare a puterii maxime  $t_{DM}$ .

$$\tau = \frac{\int_0^{t_c} I^2 \cdot dt}{I_M^2} \quad (3.59)$$

Mărimea  $\tau$  se numește *timpul* sau *durata pierderilor maxime* (prescurtat *timpul pierderilor*) și reprezintă timpul convențional în care instalația, funcționând la sarcină maximă constantă are aceleași pierderi de energie ca și în cazul în care ar funcționa după curba de sarcină reală.

Între timpul de utilizare al puterii maxime  $t_{DM}$  și timpul pierderilor  $\tau$  este stabilită o legătură prin intermediul curbelor de sarcină. În felul acesta se pot construi curbe care pot fi folosite pentru determinarea timpului de pierderi, atunci cînd se cunosc  $t_{DM}$  și  $\cos \varphi$  (fig. 3.18).

#### 1. Pierderile de putere și de energie în liniile electrice

Pierderile de putere activă în rezistența liniei:

$$\Delta P_R = 3R_l I_l^2 \cdot 10^{-3} \text{ [kW]}, \quad (3.60)$$

în care:  $I_l$  este curentul de calcul corespunzător puterii cerute în A;  
 $R_l$  — rezistența unei faze, la temperatura efectivă a liniei,  
 în  $\Omega$ .

Démarécé:

$$I_l^2 = \frac{S_l^2}{3U_n^2}, \quad (3.61)$$

relația (3.60) se poate scrie și sub forma :

$$\Delta P_R = \frac{P_l^2 + Q_l^2}{U_n^2} \cdot R_l \text{ [MW]},$$

în care:  $P_l$  și  $Q_l$  sînt puterile cerute active și reactive vehiculate prin linie, în kW, respectiv în kvar;

$U_n$  — tensiunea nominală a liniei, în kV.

Pierderile de putere reactivă în reactanța inductivă a liniei sînt :

$$\Delta Q_X = 3 \cdot X_l \cdot I_l^2 \cdot 10^{-3} \text{ [kvar]}, \quad (3.62)$$

în care  $X_l$  este reactanța unei faze a liniei, în  $\Omega$ .

Cu relația (3.61), relația (3.62) devine :

$$\Delta Q_X = \frac{P_l^2 + Q_l^2}{U_n^2} \cdot X_l \text{ [Mvar]}. \quad (3.63)$$

Pierderile de putere activă în conductanța liniei

$$\Delta P_G = U_n^2 \cdot G_l \text{ [MW]}. \quad (3.64)$$

Pierderile de putere reactivă în susceptanța capacitivă a liniei

$$\Delta Q_C = U_n^2 \cdot B_l \text{ [Mvar]}. \quad (3.65)$$

Cînd puterea absorbită de consumator este constantă, pierderile de energie activă au valoarea :

$$\begin{aligned} \Delta E_{at} &= \Delta P_t \cdot t = (\Delta P_R + \Delta P_G) \cdot t = \\ &= \left( \frac{P_l^2 + Q_l^2}{U_n^2} \cdot R_l + U_n^2 G_l \right) \cdot t \text{ [MWh]}, \end{aligned} \quad (3.66)$$

în care s-au notat cu  $\Delta P_t$  pierderile totale de putere activă în linie.

Pierderile de energie reactivă sînt

$$\begin{aligned} \Delta E_{rt} &= \Delta Q_t \cdot t = (\Delta Q_X + \Delta Q_C) \cdot t = \\ &= \left( \frac{P_l^2 + Q_l^2}{U_n^2} \cdot X_l + U_n^2 B_l \right) \cdot t \text{ [Mvarh]}. \end{aligned} \quad (3.67)$$

Cînd puterea absorbită este variabilă în timp, pierderea de energie activă într-un ciclu este

$$\Delta E_{a1} = \int_0^T \Delta P_1 \cdot dt = \int_0^T \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_n^2} R_1 dt + U_n^2 G_1 t_c \quad (3.68)$$

Pentru a evita efectuarea integralei se folosește durata  $\tau$  a pierderilor

$$\Delta E_{a1} = \frac{P_{M1}^2 + Q_{M1}^2}{U_n^2} R_1 \tau + U_n^2 G_1 t_c \quad (3.69)$$

În același mod

$$\Delta E_{r1} = \frac{P_{M1}^2 + Q_{M1}^2}{U_n^2} X_{l1} \tau + U_n^2 B_{l1} t_c$$

## 2. Pierderile de tensiune în liniile electrice trifazate

Pierderea totală de tensiune într-o linie electrică trifazată se calculează cu relația:

$$\Delta U_l = \frac{P_l R_l + Q_l X_l}{U_n} \quad [\text{kV}], \quad (3.70)$$

în care:  $P_l$ ,  $Q_l$  — sînt puterile activă, respectiv reactivă cerute, în MW respectiv Mvar;

$R_l$ ,  $X_l$  — rezistența, respectiv reactanța liniei, în  $\Omega$ ;

$U_n$  — tensiunea nominală a liniei, în kV.

Forme particulare ale relației (3.70) sînt date în tabelul 4.38.

## 3.6.5. PIERDERILE DE TENSIUNE, PUTERE ȘI ENERGIE ÎN TRANSFORMATORELE TRIFAZATE DE PUTERE

Pierderea de tensiune în transformatorul trifazat cu două înfășurări este dată de relația:

$$\Delta U_T = \frac{P_T R_T + Q_T X_T}{U_{1n}} \quad [\text{kV}], \quad (3.71)$$

în care:  $P_T$ ,  $Q_T$  reprezintă puterile activă, respectiv reactivă vehiculate prin transformator, în MW, respectiv Mvar;

$R_T$ ,  $X_T$  — rezistența, respectiv reactanța transformatorului, în  $\Omega$ ;

$U_{1n}$  — tensiunea nominală primară a transformatorului, în kV.

*Pierderile de putere în transformatorul trifazat cu două înfășurări*  
Pierderile de putere sînt active și reactive și se produc în materialul con-

ductor al înfășurărilor ( $\Delta P_{sc}$ ,  $\Delta Q_{sc}$ ) și în fierul circuitului magnetic ( $\Delta P_0$  și  $\Delta Q_0$ ); ele sînt date de relațiile:

$$\Delta P_x = \Delta P_0 + \Delta P_{sc}; \quad (3.72)$$

$$\Delta Q_x = \Delta Q_0 + \Delta Q_{sc}.$$

La sarcină nominală, pierderile de putere la scurtcircuit sînt

$$\Delta P_{scn} = \frac{S_n^2}{U_n^2} \cdot R_T \text{ și } \Delta Q_{scn} = \frac{U_{sc}}{100} \cdot S_n \quad (3.73)$$

cu  $U_n$  în procente.

La o sarcină  $S$  diferită de cea nominală, notînd  $\alpha = \frac{S}{S_n}$ ,

$$\Delta P_x = \alpha^2 \cdot \Delta P_{sc} \text{ și } \Delta Q_x = \alpha^2 \cdot \Delta Q_{scn}. \quad (3.74)$$

Pierderile de putere reactivă în fierul transformatorului sînt egale cu puterea de magnetizare la mersul în gol:

$$\Delta Q_0 = \frac{I_0}{100} \cdot S_n, \quad (3.75)$$

cu  $I_0$  în procente.

Pierderile totale de putere în transformator sînt:

$$\Delta P_x = \Delta P_0 + \alpha^2 \cdot \Delta P_{scn} \quad (3.76)$$

și

$$\Delta Q_x = \Delta Q_0 + \alpha^2 \frac{U_{sc}}{100} \cdot S_n.$$

Pierderile de energie activă în transformatorul trifazat cu două înfășurări, sînt:

$$\Delta E_{ax} = \int_0^{t_s} \Delta P_x \cdot dt = \Delta P_0 \cdot t_s + \alpha_M^2 \Delta P_{scn} \cdot \tau; \quad (3.77)$$

pierderile de energie reactivă sînt

$$\Delta E_{rx} = \int_0^{t_s} \Delta Q_x \cdot dt = \Delta Q_0 \cdot t_s + \alpha_M^2 \cdot \Delta Q_{scn} \cdot \tau; \quad (3.78)$$

în aceste relații:  $\alpha_M = \frac{S_M}{S_n}$  este coeficientul de încărcare maximă a transformatorului;

$S_M$  — sarcină maximă cerută.

**Observații.** 1. În cazul în care în stația de transformare sînt în funcțiune mai multe transformatoare, pentru calculul pierderilor de putere este necesar să se cunoască repartiția sarcinii între transformatoare, regimul și durata de funcționare corespunzătoare fiecărui transformator.

2. La funcționarea identică a  $n$  transformatoare în paralel, pierderile totale de putere sînt:

$$(\Delta P_n) = n \cdot \Delta P_0 + \frac{\alpha^2}{n} \cdot \Delta P_{fe}, \quad (3.79)$$

unde coeficientul de încărcare corespunde curentului total, adică:

$$\alpha = \frac{S_t}{S_n} = \frac{I_t}{I_n}. \quad (3.80)$$

### 3.6.6. CRITERII TEHNICO-ECONOMICE PENTRU ALEGEREA SECȚIUNII CONDUCTOARELOR LINIILOR ELECTRICE

Secțiunea conductoarelor și cablurilor se determină ținînd seama de următoarele restricții tehnice:

— încălzirea în regim de lungă durată, ca urmare a efectului termic al curentului de calcul;

— încălzirea în regimuri forțate de scurtă durată ca urmare a efectului termic al curenților de scurtcircuit și al curenților de pornire ai motoarelor electrice;

— căderea de tensiune în regimuri de avarie;

— rezistență mecanică — stabilitate la sarcini mecanice (greutatea proprie, vînt, chiciură etc);

— pierderi prin efect corona.

Condițiile obligatorii de dimensionare corespunzătoare acestor restricții tehnice sînt sintetizate în tabelul 3.45.

Secțiunea obținută prin calcul, pe baza restricțiilor tehnice, este: secțiunea tehnică,  $S_t$ .

Pentru a asigura o funcționare economică în timp, este necesară în plus și respectarea unor restricții economice, în sensul realizării unui regim de funcționare economic, corespunzător unor cheltuieli totale minime pentru linia respectivă, într-o perioadă de funcționare dată.

Pentru aceasta se impune determinarea secțiunii economice și compararea acesteia cu secțiunea tehnică.

Tabelul 3.45

**Restricții la alegerea secțiunii conductoarelor și cablurilor**

Nr. crt.	Restricția	L.E.A.	L.E.C.
1	Încălzirea conductoarelor	x	x
2	Stabilitate termică la scurtcircuit	x <sup>1</sup>	x <sup>3</sup>
3	Densitatea de curent la pornirea motoarelor	—	x
4	Căderea de tensiune	x	x
5	Rezistența mecanică	x	—
6	Pierderi prin efect corona	x <sup>1</sup>	—

<sup>1</sup> obligatoriu la LEA cu  $U_n > 110$  kV

<sup>3</sup> cu excepția circuitelor cu  $U_n > 1$  kV, protejate prin siguranțe fuzibile.



Secțiunea  $S$  care se va adopta în final trebuie să fie cea mai mare din valorile rezultate pentru secțiunea tehnică  $S_t$  și secțiunea economică  $S_e$ :

$$S = \max (S_t, S_e). \quad (3.81)$$

În cazurile în care secțiunea economică rezultă a fi insuficientă din punct de vedere al criteriilor tehnice, se impune reanalizarea soluției de alimentare astfel încît, în condiții economice, să poată fi evitată adoptarea unei secțiuni mărite din cauza criteriilor tehnice.

În instalațiile de cabluri de 6–20 kV, dacă secțiunea tehnică impusă de condițiile de stabilitate termică la scurtcircuit depășește secțiunea economică, se vor lua măsuri pentru limitarea acțiunii curenților de scurtcircuit prin:

- instalarea de siguranțe limitatoare de curent cu acțiune instantanee;
- prevederea de instalații de protecție cu eliminarea rapidă a scurtcircuitului.

Alegerea secțiunii pe baza încălzării este prezentată în capitolul 4.

### 1. Alegerea secțiunii pe baza pierderilor de tensiune

Secțiunea conductoarelor se determină punînd condiția ca pierderea de tensiune între punctul de racord și pînă la ultimul receptor să nu depășească pierderea de tensiune maxim admisă, adică:

$$\Delta U \leq U_{adm}. \quad (3.82)$$

Valorile maxim admise ale căderii de tensiune sînt:

- în cazul alimentării directe din rețeaua de joasă tensiune a furnizorului:

- 2% pentru instalațiile de iluminat;
- 5% pentru instalațiile altor receptoare.

- în cazul alimentării de la posturi de transformare de abonat sau centrale proprii:

- 8% pentru instalațiile de iluminat;
- 10% pentru instalațiile altor receptoare.

Relațiile de calcul sînt indicate în subcapitolul 4.14.

### 2. Determinarea secțiunii economice a conductoarelor

Secțiunea economică se determină pe baza unui calcul tehnico-economic; ea este dată de relația:

$$S_e = \sqrt{\frac{3\rho I_{max}^2 [x^2 \cdot A \cdot \gamma + \beta' \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \tau_i (1+a)^{-i}]}{K[1-W_n(1+a)^{-n}] \cdot 10^3}} \quad [\text{mm}^2] \quad (3.83)$$

în care:  $\rho$  este rezistivitatea conductorului, în  $\Omega\text{mm}^2/\text{km}$ ;

$I_{max}$  — sarcina maximă de calcul a liniei, în A;

$A$  — cheltuielile totale actualizate, în lei/km;

$\gamma$  — costul kW instalat în centrale de echivalare de bază, în lei/kW;

$\beta'$  — costul unitar al energiei pierdute, în lei/kWh;

$\alpha_i$  — raportul dintre sarcină maximă în anul  $i$  și sarcina maximă de calcul  $I_{max}$ ;

$\tau_i$  — durată anuală echivalentă a pierderilor maxime din anul  $i$ , în ore/an;

- $a$  — rata de actualizare;  
 $K$  — panta de creștere a prețului unui kilometru de linie cu secțiunea, în lei/km · mm<sup>2</sup>;  
 $W_r$  — cota valorii remanente, procent din valoarea de investiții, în %;  
 $n$  — perioada de analiză a liniei, în ani;

Cu ajutorul secțiunii economice, definită de relația (3.83), se introduce noțiunea de densitate economică de curent:

$$j_{ec} = \frac{I_{max}}{S_{ec}} \text{ [A/mm}^2\text{]}. \quad (3.84)$$

Pe baza relației (3.84) au fost stabilite valori normate pentru densitatea economică de curent, în funcție de felul liniei, materialul conductor și durata de utilizare a sarcinii maxime — tabelul 3.46.

Avînd densitatea economică de curent, secțiunea economică de calcul a liniilor electrice se determină cu relația:

$$S_{ec} = \frac{K_c \cdot I_{max}}{j_{ec}}, \quad (3.85)$$

în care  $K_c$  este un coeficient de corecție funcție de costul tonei de combustibil marginal normat la momentul proiectării:

$$K_c = 1 - 0,012 \frac{1950 - C}{100}, \text{ pentru } C \leq 1950 \text{ lei/tcc};$$

$$K_c = 1 + 0,008 \frac{C - 1950}{100}, \text{ pentru } C > 1950 \text{ lei/tcc}.$$

Costul  $C$  normat la momentul proiectării pentru combustibilul marginal, se adoptă conform PE011, sau după caz, în conformitate cu circularele tehnice de reactualizare a acestui normativ;

$I_{max}$  — sarcină maximă de calcul, în A.

a. *Stabilirea sarcinii maxime de calcul ținînd seama de evoluția sa în timp*

Sarcina maximă de calcul  $I_{max}$  se determină în funcție de sarcină maximă din primul an de exploatare și de evoluția acesteia în următorii ani, în una din următoarele ipoteze:

Sarcina maximă nu variază în decursul perioadei de analiză față de sarcina maximă din primul an; în acest caz sarcina maximă de calcul se va considera însăși valoarea sarcinii maxime din primul an.

Sarcina maximă crește cu o rată anuală medie  $r$  în perioada primilor  $t \leq 9$  ani, după anul de punere în funcțiune, valoarea plafon atinsă în final —  $I_{max_f}$ , presupunîndu-se că se menține în restul duratei de serviciu; sarcina maximă de calcul se determină cu relația:

$$I_{max} = K_r \cdot I_{max_1}, \quad (3.86)$$

în care:  $K_r$  este un coeficient funcție de rata de creștere a sarcinii. (tab. 3.47);

$I_{max_1}$  — sarcină maximă în primul an de exploatare.

Tabelul 3.46

Valorile normate ale densităților economice de curent  $J_{ec}$  în A/mm<sup>2</sup>

Tipul liniei	T [ore/an]							$\gamma$	S <sub>max</sub> [mm <sup>2</sup> ]
	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000		
1	2							3	4
1. LEA cu conductoare din Al — valori medii pentru estimări	0,60                      0,40                      0,30								
— LEA j.t. 3 conductoare	0,64	0,50	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	1,88	95
— LEA j.t. conductoare torsadate	0,65	0,51	0,41	0,34	0,29	0,26	0,23	1,96	70
— LEA j.t. 4 conductoare	0,73	0,57	0,46	0,39	0,33	0,29	0,25	1,73	95
— LEA 20 kV	0,75	0,61	0,50	0,43	0,37	0,32	0,29	1,80	120
— LEA 110 kV	0,75	0,62	0,52	0,44	0,38	0,33	0,30	1,55	300
2. LEA cu conductoare din Cu — valori medii pentru estimări	2,00                      1,40                      1,00								
— LEA j.t. 3 conductoare	2,23	1,75	1,42	1,18	1,01	0,88	0,78	1,21	70
— LEA j.t. 4 conductoare	2,57	2,02	1,64	1,37	1,17	1,02	0,90	1,16	70
— LEA 20 kV	2,48	2,02	1,68	1,42	1,22	1,07	0,95	1,26	70
— LEA 110 kV	2,57	2,13	1,78	1,52	1,31	1,15	1,03	1,09	300
3. LEC j.t. cu conductoare din Al — valori medii pentru estimări	0,70                      0,45                      0,35								
— LEC cu izolație din hirtie	0,93	0,73	0,59	0,50	0,42	0,37	0,33	1,07	240
— LEC cu izolație sintetică	0,77	0,60	0,49	0,41	0,35	0,30	0,27	1,09	240
4. LEC j.t. cu conductoare din Cu — valori medii pentru estimări	1,90                      1,25                      0,95								
— LEC cu izolație din hirtie	2,35	1,85	1,50	1,25	1,07	0,93	0,82	1,05	150
— LEC cu izolație sintetică	2,31	1,81	1,47	1,22	1,05	0,91	0,81	1,03	185
5. LEC 6—10 kV cu conductoare din Al — valori medii pentru estimări	0,70                      0,50                      0,40								
— LEC 6 kV cu izolație sintetică	0,82	0,67	0,56	0,47	0,41	0,36	0,32	1,29	240
— LEC 10 kV cu izolație sintetică	0,91	0,74	0,62	0,52	0,45	0,39	0,35	1,46	150
— LEC 6—10 kV cu izolație din hirtie	0,88	0,72	0,59	0,50	0,43	0,38	0,34	1,45	150
6. LEC 6—10 kV cu conductoare din Cu — valori medii pentru estimări	2,00                      1,40                      1,00								
— LEC 6—10 kV cu izolație din hirtie	2,42	1,98	1,64	1,39	1,20	1,05	0,93	1,12	150
7. LEC 20 kV cu conductoare din Al — valori medii pentru estimări	0,85                      0,60                      0,45								
— LEC 20 kV cu izolație sintetică	1,05	0,86	0,71	0,60	0,52	0,46	0,40	1,60	150

Valorile coeficientului  $K_r$  pentru stabilirea sarcinii maxime de calcul în funcție de rata anuală  $r$

Rata $r$ [%]	Numărul anilor de creștere $t_r$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,06
2	1,02	1,04	1,05	1,07	1,08	1,09	1,11	1,12	1,13
3	1,03	1,05	1,08	1,10	1,12	1,15	1,17	1,19	1,20
4	1,04	1,07	1,11	1,14	1,17	1,20	1,23	1,26	1,28
5	1,05	1,09	1,13	1,18	1,22	1,26	1,30	1,33	1,37
6	1,06	1,11	1,16	1,21	1,27	1,32	1,37	1,42	1,46
7	1,06	1,13	1,19	1,25	1,32	1,38	1,44	1,50	1,57
8	1,07	1,15	1,22	1,29	1,37	1,44	1,42	1,60	1,68
9	1,08	1,17	1,25	1,34	1,42	1,51	1,61	1,70	1,79
10	1,09	1,19	1,28	1,38	1,48	1,59	1,69	1,81	1,92
11	1,10	1,21	1,31	1,43	1,54	1,66	1,79	1,92	2,06
12	1,11	1,23	1,35	1,47	1,60	1,74	1,89	2,04	2,21
13	1,12	1,25	1,38	1,52	1,67	1,83	2,00	2,18	2,37
14	1,13	1,27	1,41	1,57	1,73	1,91	2,11	2,31	2,54
15	1,14	1,29	1,45	1,62	1,80	2,01	2,22	2,46	2,72
16	1,15	1,31	1,48	1,67	1,88	2,10	2,35	2,62	2,92
17	1,16	1,33	1,52	1,72	1,95	2,20	2,48	2,79	3,13
18	1,17	1,35	1,55	1,78	2,03	2,31	2,62	2,79	3,36
19	1,18	1,37	1,59	1,83	2,11	2,41	2,76	3,16	3,60
20	1,18	1,39	1,62	1,89	2,19	2,53	2,92	3,36	3,86

Idem ipoteza anterioară, cu precizarea că în unul din cei 9 ani în care are loc creșterea treptată a sarcinii cu rata  $r$  și anume în anul  $t_s$  mai are loc o creștere suplimentară în salt, prin suprapunerea unei sarcini planificate  $I_{p1}$ ; sarcina maximă de calcul se determină cu relația :

$$I_{max} = I_{max_1} \cdot K_{rs}, \quad (3.87)$$

în care:  $K_{rs}$  este un coeficient funcție de rata de creștere  $r$  și de valoarea relativă a saltului de sarcină în anul  $t_s$  în raport cu sarcina din primul an,  $I_{p1}/I_{max_1}$ , tabelul 3.48.

b. *Stabilirea sarcinii maxime de calcul în cazul liniilor radiale cu sarcini în derivație*

Linii cu secțiune constantă

— în ipoteza liniei cu secțiune constantă sarcină maximă echivalentă se determină cu:

$$I_{max_e} = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot l_1 + I_2^2 \cdot l_2 + \dots + I_n^2 \cdot l_n}{L}}, \quad (3.88)$$

în care:  $I_1, I_2, \dots, I_n$  sînt sarcinile derivație, în A;

$l_1, l_2, \dots, l_n$  — lungimile tronsoanelor de linie, în m;

$L = \sum_{i=1}^n l_i$  — lungimea totală a tronsonului.

Valorile coeficientului  $K_{rs}$ 

pentru stabilirea sarcinii maxime de calcul în funcție de rata anuală și o creștere planificată în salt  $I_{pl}$

$I_{pl}$	$I_{max}$	Coeficientul $K_{rs}$								
		Anul creșterii în salt $t_k$								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0	0,5	1,47	1,43	1,40	1,37	1,34	1,32	1,29	1,27	1,25
0	1,0	1,94	1,88	1,82	1,77	1,71	1,66	1,62	1,57	1,53
0	1,5	2,41	2,33	2,25	2,17	2,09	2,02	1,96	1,89	1,83
0	2,0	2,89	2,78	2,68	2,58	2,48	2,39	2,30	2,22	2,14
0	2,5	3,37	3,24	3,11	2,99	2,87	2,76	2,65	2,55	2,45
0	3,0	3,84	3,69	3,54	3,40	3,27	3,14	3,01	2,89	2,77
2	0,0	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
2	0,5	1,60	1,57	1,54	1,51	1,48	1,46	1,43	1,41	1,39
2	1,0	2,07	2,01	1,96	1,91	1,85	1,81	1,76	1,71	1,67
2	1,5	2,54	2,46	2,39	2,31	2,24	2,17	2,10	2,03	1,97
2	2,0	3,02	2,92	2,82	2,72	2,63	2,53	2,45	2,36	2,28
2	2,5	3,50	3,37	3,25	3,13	3,02	2,91	2,80	2,69	2,59
2	3,0	3,98	3,83	3,69	3,55	3,41	3,28	3,15	3,03	2,91
4	0,0	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
4	0,5	1,75	1,72	1,70	1,67	1,64	1,62	1,59	1,57	1,55
4	1,0	2,22	2,17	2,12	2,07	2,02	1,97	1,92	1,88	1,83
4	1,5	2,70	2,62	2,55	2,47	2,40	2,33	2,26	2,20	2,13
4	2,0	3,17	3,08	2,98	2,88	2,79	2,70	2,61	2,53	2,44
4	2,5	3,65	3,53	3,41	3,30	3,18	3,07	2,97	2,86	2,76
4	3,0	4,13	3,99	3,85	3,71	3,58	3,45	3,32	3,20	3,07
6	0,0	1,46	<b>1,46</b>	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
6	0,5	1,93	<b>1,91</b>	1,88	1,85	1,83	1,81	1,78	1,76	1,73
6	1,0	2,40	<b>2,35</b>	2,30	2,26	2,21	2,16	2,11	2,07	2,02
6	1,5	2,88	2,80	2,73	2,66	2,59	2,52	2,46	2,39	2,32
6	2,0	3,35	3,26	3,16	3,07	2,98	2,89	2,81	2,72	2,63
6	2,5	3,83	3,71	3,60	3,49	3,38	3,27	3,16	3,05	2,95
6	3,0	4,31	4,17	4,03	3,90	3,77	3,64	3,51	3,39	3,26

în cazul liniilor cu derivații, secțiunea economică a acestora va fi corespunzătoare sarcinii maxime transportate prin ele; se admite utilizarea pe derivații a aceleași secțiuni ca și a liniei, în care caz se determină sarcina maximă de calcul corespunzător fiecărei derivații cu relația (3.88).

## Linii cu secțiune variabilă

Secțiunea economică se va calcula pentru fiecare tronson în parte sau pe grupe de tronsoane. Se recomandă dimensionarea unei secțiuni economice distincte pentru porțiunea inițială a liniei, în copunerea acesteia urmînd a fi luate în considerare primul sau primele cîteva tronsoane prin care sînt transportate sarcinile cu valorile cele mai ridicate.

## 3.7. CALCULUL CURENȚILOR DE SCURT-CIRCUIT

### 3.7.1. NOȚIUNI GENERALE. METODE DE CALCUL

Prin *scurtcircuit* se înțelege contactul accidental fără rezistență, sau printr-o rezistență de valoare relativ mică, a două sau mai multor conductoare aflate sub tensiune.

Dintre cauzele scurtcircuitelor, se amintesc: deterioararea izolației instalației electrice; ruperea conductoarelor liniilor sub acțiunea sarcinilor mecanice; atingerea conductoarelor neizolate (LEA) de către păsări sau animale; manevre greșite în timpul exploatării.

Valoarea curenților de scurtcircuit depinde de:

- puterea surselor care alimentează scurtcircuitul;
- distanța dintre sursă și locul de scurtcircuit, adică impedanța echivalentă a circuitului electric cuprins între sursă și locul scurtcircuitului;
- timpul scurs de la momentul apariției scurtcircuitului;
- tipul scurtcircuitului (monofazat, bifazat, trifazat).

Valoarea ridicată a curentului de scurtcircuit provoacă:

- creșterea căderilor de tensiune în toate impedanțele pe care le parcurge, determinând o scădere generală a tensiunii în sistem;
- deterioarea utilajului electric prin efectele sale termice și electro-dinamice.

Eliminarea sau atenuarea consecințelor negative ale curenților de scurtcircuit se poate realiza prin folosirea unui sistem adecvat de protecții prin relec, care trebuie să funcționeze corect și selectiv.

Calculul curenților de scurtcircuit este necesar pentru:

- verificarea elementelor componente ale instalațiilor electrice la stabilitatea termică și dinamică; alegerea și reglarea instalațiilor de protecție prin relec.

În instalațiile electroenergetice pot avea loc patru tipuri de scurtcircuite.

Scurtcircuitul *trifazat* (simetric) — produce cele mai mari solicitări electrodinamice și în majoritatea cazurilor, cele mai periculoase solicitări termice. Datorită acestui fapt, acest tip de scurtcircuit se ia ca bază pentru:

- alegerea aparatajului primar și a căilor de curent;
- verificarea tensiunii la barele stațiilor electrice de transformare.

Scurtcircuitele *bifazate* și *monofazate* (asimetrice) — stau la baza alegerii protecției prin relec și a calculului instalațiilor de legare la pământ de protecție.

Calculul curenților de scurtcircuit pentru proiectarea instalațiilor electroenergetice trebuie efectuat în ipoteza perspectivei de dezvoltare în următorii 7—10 ani.

Trecerea unui sistem energetic de la regimul normal de funcționare la regimul de scurtcircuit alimentat de un generator prevăzut cu RAT (regulator automat de tensiune), este arătată în figura 3.19.

Scurtcircuitul este un regim tranzitoriu în care apar componentele aperiodică  $i_{ap}$  și periodică  $i_p$  de scurtcircuit, urmat de un regim permanent de scurtcircuit, în care s-a stabilizat și acțiunea RAT. Procesul tranzitoriu pînă la stabilirea regimului permanent durează 3÷5 secunde. Modul de variație al curentului de scurtcircuit diferă după cum generatorul care

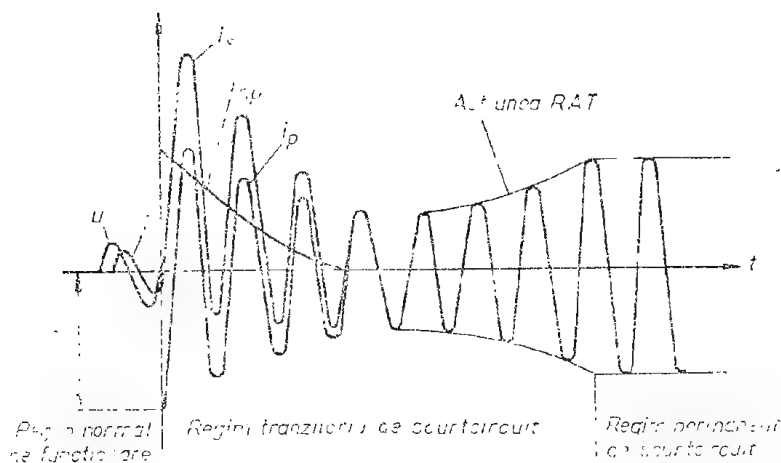


Fig. 3.19. Variația curentului de scurtcircuit în funcție de timp.

alimentează scurtcircuitul este prevăzut sau nu cu RAT. În cazul generatoarelor fără RAT în perioada inițială curentul crește brusc, iar apoi scade treptat pînă la valoarea permanentă de scurtcircuit. În cazul cînd generatorul este prevăzut cu RAT, curentul de scurtcircuit scade sub valoarea de șoc ( $i_s$ ), iar apoi datorită creșterii t.e.m. a generatorului sub acțiunea RAT, curentul crește, rămînînd în regim permanent, mai mare decît în cazul în care generatorul nu este prevăzut cu RAT (fig. 3.19). Acțiunea RAT se manifestă practic după  $0,2 \div 0,3$  s.

Din figura 3.19, se poate observa că valoarea curentului de scurtcircuit rezultă în orice moment din suma vectorială a celor două componente  $i_p$  și  $i_{ap}$ ; valoarea eficace a curentului total de scurtcircuit este:

$$I_{sc,t} = \sqrt{I_p^2 + I_{ap}^2}. \quad (3.89)$$

Acest curent determină solicitarea termică a echipamentului instalațiilor.

După 0,01 s (la  $\frac{T}{2}$  în cazul  $f = 50$  Hz), suma dintre  $i_p$  și  $i_{ap}$  este maximă și reprezintă valoarea maximă  $i_s$  a curentului. Valoarea maximă a acestui curent determină solicitările dinamice ale elementelor componente ale instalațiilor.

Valoarea curentului de șoc depinde în primul rînd de faptul că rotorul generatorului este sau nu prevăzut cu înfășurări de amortizare. Înfășurările de amortizare determină creșterea curentului de șoc. Astfel la turbogeneratoare  $I_s = (18 \dots 19) I_n$ , iar la hidrogeneratoare  $I_s = (5 \dots \dots 8) I_n$ .

Componenta aperiodică se anulează practic după 0,2 s și componenta periodică va reprezenta curentul total de scurtcircuit în regim permanent.

Pentru mărimile care intervin în calculul curentului de scurtcircuit se vor folosi următoarele notații:

- $I_{s,0}$  — valoarea inițială a componentei periodice;
- $I_s$  — valoarea eficace a curentului de șoc;
- $I_{s,0,2}$  — valoarea eficace a curentului de scurtcircuit după 0,2 s;
- $I_{sc,p}$  — valoarea eficace a curentului permanent de scurtcircuit.

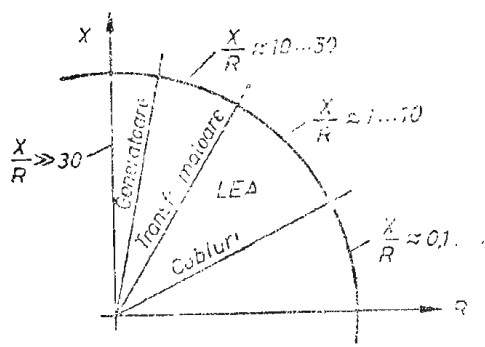


Fig. 3.20. Raportul  $X/R$  pentru diferite elemente de rețea.

Aproximații și premize de calcul în calculele practice de scurtcircuit:

— liniile electrice se reprezintă numai prin impedanța longitudinală;

— impedanțele transformatoarelor și mașinilor sincrone au un caracter inductiv predominant, având un raport  $\frac{X}{R} > 10$  (fig. 3.20);

din această cauză în calculele practice se neglijează componenta rezistivă a impedanțelor;

— sarcinile electrice, reprezentate ca impedanțe transversale, se neglijează;

— reactanțele de secvență directă și inversă se consideră egale;

— elementele componente ale rețelei se consideră simetrice;

— în regim permanent, anterior defectului, se neglijează circulațiile de putere, ceea ce este echivalent cu neglijarea sarcinilor;

— circuitele electrice se consideră liniare ceea ce permite reprezentarea unor subrețele întregi prin impedanțe echivalente și aplicarea teoremei superpoziției.

Pentru calculul curenților de scurtcircuit se folosesc următoarele metode de bază:

a) metoda unităților relative;

b) metoda componentelor simetrice [13].

Prima metodă constituie un calcul operativ, dar aproximativ al curenților de scurtcircuit și se folosește la alegerea și verificarea instalațiilor electrice. Cea de-a doua metodă reprezintă un calcul exact al curenților de scurtcircuit și se folosește la reglarea protecțiilor din sistemul energetic.

### 3.7.2. ELEMENTE PENTRU CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT

În schema monofilară a circuitelor primare ale instalației electrice se vor indica:

— tipurile surselor de alimentare;

— denumirea generatoarelor;

— valorile medii ale tensiunilor;

— mărimile și parametrii caracteristici ai echipamentului electric.

Valorile medii ale tensiunilor de calcul în funcție de tensiunile nominale sînt date în tabelul 3.49.

Mărimile și parametrii caracteristici ai echipamentului, care se iau în considerare la calculul curenților de scurtcircuit, se indică în cele ce urmează.



Tensiunile medii de calcul

$U_n$ [kV]	0,500	3	6	10	15	20	25	35	60	110	220	400
$U_{med}$ [kV]	0,525	3,15	6,3	10,5	15,75	21	26,25	37	63	115	230	410

a. Pentru generatoare sincrone:

- puterea activă nominală  $P_{na}$ , în MW;
- factorul de putere nominal,  $\cos \phi_n$ ;
- reactanța supratranzitorie longitudinală,  $X_d''$ , în procente;
- t.e.m. supratranzitorie,  $E''$ , în unități relative (u.r.).

În cazul în care datele exacte lipsesc sau sînt aproximative, se pot folosi pentru reactanțele supratranzitorii longitudinale  $X_d''$  următoarele valori:

- pentru turbogeneratoare cu  $S \leq 25$  MVA: 12,5%;
- pentru turbogeneratoare cu  $30 \leq S \leq 75$  MVA: 14,5%;
- pentru turbogeneratoare cu  $100 \leq S \leq 300$  MVA: 19,5%;
- pentru hidrogeneratoare cu înfășurare de amortizare: 20%;
- pentru hidrogeneratoare fără înfășurare de amortizare: 27%;
- pentru generatoare Diesel: . . . . . 18%.

În lipsa datelor precise referitoare la t.e.m.  $E''$ , se pot folosi următoarele valori, exprimate în unități relative:

- pentru turbogeneratoare: 1,08;
- pentru hidrogeneratoare cu înfășurare de amortizare: 1,13;
- pentru hidrogeneratoare fără înfășurare de amortizare: 1,18;

**Observație.** Pentru  $X_d'$  și  $E'$  la compensatoarele sincrone și motoarele asincrone de mare putere se iau în considerare valorile indicate mai sus.

b. Pentru transformatoare și autotransformatoare:

- puterea nominală aparentă  $S_{n1}$ , în MVA;
- tensiunea de scurtcircuit,  $U_{sc}$ , în procente.

c. Pentru bobine de reactanță:

- tensiunea nominală  $U_{nb}$ , în kV;
- curentul nominal  $I_{nb}$ , în A;
- reactanța procentuală  $X_l$ , în procente

d. Pentru linii electrice:

- lungimea liniei  $l$ , în km;
- reactanțele de succesiune directă, inversă și homopolară  $X_{0l}$ ,

$X_{0l}$ ,  $X_{0l}$ , pe unitatea de lungime a liniei, în  $\Omega/\text{km}$ .

Cînd nu se cunosc date precise se pot adopta pentru reactanțele specifice ale liniilor valorile medii din tabelele 3.33, 3.34, 3.35.

Schema echivalentă de calcul se întocmește numai pentru o fază, atît pentru scurtcircuite simetrice, cît și nesimetrice.

Elementele sistemului considerat se introduc în schema de calcul prin impedanțele (reactanțele) lor echivalente.

În cazul schemelor care conțin mai multe trepte de tensiune legate între ele prin transformatoare, toate impedanțele se raportează la aceeași treaptă de tensiune, care de obicei este tensiunea nominală de linie la locul scurtcircuitului.

### 3.7.3. CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT PRIN METODA COMPONENTELOR SIMETRICE

#### 1. Teoria componentelor simetrice. Noțiuni generale

Orice sistem trifazat de mărimi — curenți, tensiuni, fluxuri etc. nesimetric, poate fi descompus numai într-un singur mod în trei sisteme trifazate simetrice independente; aceste trei sisteme simetrice, care se deosebesc între ele numai prin succesiunea fazelor se numesc respectiv: sistem de secvență directă, inversă și homopolară.

#### 2. Scheme de secvență

La folosirea metodei componentelor simetrice una dintre problemele de bază constă în întocmirea schemelor echivalente pentru cele trei succesiuni — directă, inversă și homopolară. Din aceste scheme se obțin impedanțele echivalente ale diferitelor succesiuni ale rețelei considerate în raport cu punctul de defect.

*Schema de succesiune directă* este schema electrică echivalentă monofilară a rețelei, care se obține prin interconectarea schemelor echivalente ale elementelor componente de rețea conform schemei monofilare de conexiuni.

*Schema de succesiune inversă* este ca structură analoagă cu schema pentru succesiunea directă. Diferența între ele constă în faptul că în schema de succesiune inversă t.e.m. ale tuturor ramurilor generatoare este zero și în afară de aceasta se consideră că impedanțele de succesiune inversă ale mașinilor sincrone cât și ale sarcinii sînt diferite față de cele de succesiune directă. În calculele practice de scurtcircuit cele două reactanțe de secvență directă și inversă se consideră egale; aceasta duce la o subevaluare a puterii de scurtcircuit.

Se consideră că început al schemei de succesiune directă/inversă punctul de defect, iar sfîrșitul schemei este punctul de potențial zero (pămîntul fictiv al schemei).

*Schema de succesiune homopolară* este cu totul diferită de schema de secvență directă sau inversă, ea fiind determinată în mare măsură de grupa de conexiuni a înfășurărilor transformatoarelor și autotransformatoarelor care sînt în rețea.

Întocmirea schemei de succesiune homopolară începe (de regulă) din punctul de scurtcircuit, considerînd că în acest punct toate fazele sînt scurtcircuitate între ele și că aici se aplică tensiunea de succesiune homopolară față de pămînt. Pentru a asigura o cale de circulație a curenților de succesiune homopolară este necesar să existe cel puțin un punct legat la pămînt în circuitele galvanice la care s-a aplicat tensiunea homopolară; cînd există mai multe puncte neutre legate la pămînt, în acest circuit se formează mai multe circuite paralele pentru închiderea curenților de succesiune homopolară.

#### 3. Scurtcircuitul trifazat

Acesta corespunde unei încărcări simetrice pe cele trei faze, iar interconectarea rețelelor de secvență este reprezentată în tabelul 3.50.

Interconectarea rețelelor de secvență

Tipul scurtcircuitului	Rețeaua de secvență directă	Rețeaua de secvență inversă	Rețeaua de secvență homopolară
Scurtcircuit trifazat (3) $I_k$			 *) închis pentru cazul Răp-în-ter
Scurtcircuit bifazat fără pământare (2) $I_k$			
Scurtcircuit bifazat cu pământare (2F) $I_k$			
Scurtcircuit monofazat (1) $I_k$			

Relațiile de calcul pentru componentele simetrice ale curenților în cazul scurtcircuitului trifazat sînt :

$$\begin{aligned}
 I_{dk}^{(3)} &= \frac{E}{Z_{d\Sigma}} ; \\
 I_{ik}^{(3)} &= 0 ; \\
 I_{hk}^{(3)} &= 0 .
 \end{aligned}
 \tag{3.90}$$

Componentele de fază ale curențului la locul de scurtcircuit sînt :

$$I_{RK}^{(3)} = \frac{E}{Z_{d\Sigma}} ; \tag{3.91}$$

$$\begin{aligned}
 I_{SK}^{(3)} &= a^2 \cdot I_{RK}^{(3)} ; \\
 &= a^2 \frac{E}{Z_{d\Sigma}} ;
 \end{aligned}
 \tag{3.92}$$

$$\begin{aligned}
 I_{TK}^{(3)} &= a I_{RK}^{(3)} ; \\
 a &= \frac{E}{Z_{d\Sigma}} ,
 \end{aligned}
 \tag{3.93}$$

iar ale tensiunii :

$$V_{RK}^{(3)} = V_{SK}^{(3)} = V_{TK}^{(3)} = 0 \tag{3.94}$$

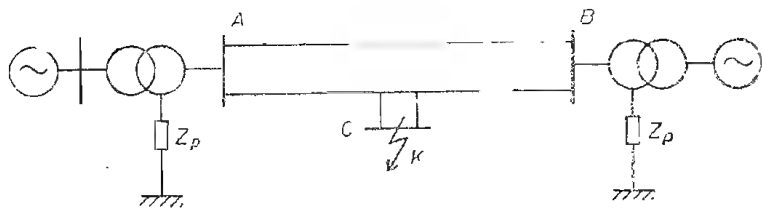


Fig. 3.21. Schema de conexiune a rețelei

Pentru rețeaua din figura 3.21 se reprezintă schema de calcul pentru un scurtcircuit trifazat (fig. 3.22).

**Observație. 1.** În schemă nu apare  $Z_p$  deoarece  $U_h = 0$ ;

$$a = e^{j120} = \frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

#### 4. Scurtcircuitul bifazat fără pământ

Interconectarea rețelelor de secvență este reprezentată în tabelul 3.50.

Relațiile de calcul pentru componentele simetrice ale curenților la locul de defect sînt :

$$I_{dK}^{(2)} = \frac{I_2}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma}} ; \quad (3.95)$$

$$I_{iK}^{(2)} = -I_{dK}^{(2)} \quad (3.96)$$

Curenții pe fază la locul de defect sînt exprimați prin :

$$I_{RK}^{(2)} = I_{dK}^{(2)} + I_{iK}^{(2)} = 0 \quad (3.97)$$

$$\begin{aligned} I_{SK}^{(2)} &= a^2 I_{dK}^{(2)} + a I_{iK}^{(2)} \\ &= -j \frac{\sqrt{3} E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma}} \end{aligned} \quad (3.98)$$

$$\begin{aligned} I_{TK}^{(2)} &= a I_{dK}^{(2)} + a^2 I_{iK}^{(2)} \\ &= j \frac{\sqrt{3} E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma}} \end{aligned} \quad (3.99)$$

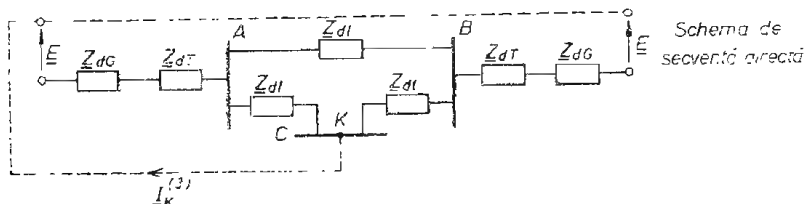


Fig. 3.22. Schema de calcul pentru scurtcircuit trifazat pe bara C.

În relația (3.95), dacă se consideră  $Z_{a\Sigma} \cong Z_{\Sigma}$ , se obține:

$$I_{aK}^{(2)} = -\frac{E}{2Z_{a\Sigma}}, \quad (3.100)$$

$$I_{iK}^{(2)} = -I_{aK}^{(2)}. \quad (3.101)$$

Tot pentru  $Z_{a\Sigma} \cong Z_{\Sigma}$ , din relațiile (3.91) și (3.99), se obține:

$$I_K^{(3)} = I_{aK}^{(3)} = \frac{E}{Z_{a\Sigma}} \quad (3.102)$$

și

$$I_K^{(2)} = \sqrt{3} \cdot \frac{E}{2Z_{a\Sigma}}, \quad (3.103)$$

de unde rezultă:

$$I_K^{(2)} = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot I_K^{(3)},$$

$$0,865 I_K^{(3)}. \quad (3.104)$$

În figura 3.23 este reprezentată schema de calcul pentru un scurtcircuit bifazat fără pământ pe bara C a rețelei din figura 3.21.

#### 5. Scurtcircuitul bifazat cu pământare

Interconectarea rețelelor de secvență este reprezentată în tabelul 3.50.

Relațiile de calcul pentru componentele simetrice ale curenților la locul de defect sînt:

$$I_{aK}^{(2)} = \frac{Z_{a\Sigma} + Z_{b\Sigma}}{Z_{a\Sigma} + Z_{b\Sigma} + Z_{a\Sigma} + Z_{b\Sigma}} \cdot \frac{E}{Z_{a\Sigma} + Z_{b\Sigma}}, \quad (3.105)$$

$$I_{iK}^{(2)} = \frac{-Z_{b\Sigma}}{Z_{a\Sigma} + Z_{b\Sigma}} \cdot \frac{E}{Z_{a\Sigma} + Z_{b\Sigma}}, \quad (3.106)$$

$$I_K^{(2)} = \frac{Z_{a\Sigma} + Z_{b\Sigma}}{Z_{a\Sigma} + Z_{b\Sigma}} \cdot \frac{E}{Z_{a\Sigma} + Z_{b\Sigma}}, \quad (3.107)$$

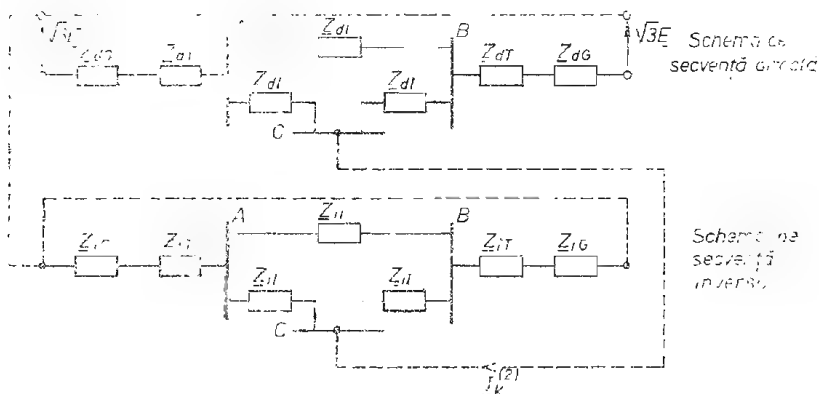


Fig. 3.23. Schema de calcul pentru scurtcircuit bifazat pe bara C.



iar valorile de fază ale curenților la locul de defect sînt:

$$I_{RK}^{(2p)} = I_{hK}^{(2p)} + I_{dK}^{(2p)} + I_{iK}^{(2p)} = 0 \quad (3.108)$$

$$\begin{aligned} I_{SK}^{(2p)} &= I_{hK}^{(2p)} + a^2 I_{dK}^{(2p)} + a I_{iK}^{(2p)} = \\ &= \frac{-j\sqrt{3}E(Z_{h\Sigma} + aZ_{i\Sigma})}{Z_{d\Sigma} \cdot Z_{i\Sigma} + Z_{i\Sigma} \cdot Z_{h\Sigma} + Z_{h\Sigma} \cdot Z_{d\Sigma}}. \end{aligned} \quad (3.109)$$

Pentru rețeaua din figura 3.21, în cazul unui scurtcircuit bifazat la pămînt pe bara C, schema de calcul este reprezentată în figura 3.24.

#### 6. Scurtcircuitul monofazat

În tabelul 3.50 este reprezentată interconectarea rețelelor de secvență.

Relațiile de calcul pentru componentele simetrice ale curenților la locul de defect/scurtcircuit sînt:

$$I_{dK}^{(1)} = I_{iK}^{(1)} = I_{hK}^{(1)} = \frac{E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma} + Z_{h\Sigma}}. \quad (3.110)$$

Curenții pe fază la locul de scurtcircuit sînt:

$$\begin{aligned} I_{RK}^{(1)} &= I_{hK}^{(1)} + I_{dK}^{(1)} + I_{iK}^{(1)}, \\ &= 3 \cdot \frac{E}{Z_{d\Sigma} + Z_{i\Sigma} + Z_{h\Sigma}}, \\ &= 3 \cdot I_{dK}^{(1)}; \end{aligned} \quad (3.111)$$

$$\begin{aligned} I_{SK}^{(1)} &= I_{hK}^{(1)} - a^2 I_{dK}^{(1)} + a I_{iK}^{(1)}, \\ &= I_{hK}^{(1)}(1 + a^2 + a), \\ &= 0; \end{aligned} \quad (3.112)$$

$$\begin{aligned} I_{TK}^{(1)} &= I_{hK}^{(1)} + a I_{dK}^{(1)} + a^2 I_{iK}^{(1)}, \\ &= I_{iK}^{(1)}(1 + a + a^2), \\ &= 0. \end{aligned} \quad (3.113)$$

Pentru rețeaua din figura 3.21, în cazul unui scurtcircuit monofazat pe bara C, schema de calcul este reprezentată în figura 3.25.

În tabelele 3.51—3.54 sînt prezentate în mod sintetic relațiile de calcul pentru componentele de secvență și fază ale curenților și tensiunilor la locul de scurtcircuit.

### 3.7.4. CALCULUL CURENȚILOR DE SCURTCIRCUIT PRIN METODA UNITĂȚILOR RELATIVE

Metoda de calcul folosește exprimarea impedanțelor schemei de calcul în unități relative.

Impedanța  $Z$ , în  $\Omega$ , a oricărui element se poate exprima în unități relative prin raportarea ei la niște mărimi, numite de bază, alese în mod

Componentele de secvență ale curentului la locul de scurtcircuit

Tipul scurtcircuitului	$I_{dK}$	$I_{iK}$	$I_{hK}$
Trifazat	$\frac{E}{Z_d \Sigma}$	0	0
Bifazat fără pământare	$\frac{E}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma}$	$-\frac{E}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma}$	0
Bifazat cu pământare	$\frac{(Z_0 \Sigma + Z_h \Sigma) E}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma + Z_h \Sigma + Z_0 \Sigma Z_d \Sigma}$	$-\frac{Z_h \Sigma \cdot E}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma + Z_h \Sigma + Z_0 \Sigma Z_d \Sigma}$	$-\frac{Z_0 \Sigma \cdot E}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma + Z_h \Sigma + Z_0 \Sigma Z_d \Sigma}$
Monofazat	$\frac{E}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma + Z_h \Sigma}$	$-\frac{E}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma + Z_h \Sigma}$	$-\frac{E}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma + Z_h \Sigma}$

Notă.  $Z_d \Sigma$ ,  $Z_0 \Sigma$ ,  $Z_h \Sigma$  reprezintă impedanța echivalentă în raport cu punctul de scurtcircuit a rețelei de secvență directă, inversă, homopolară.

Componentele de fază ale curentului la locul de scurtcircuit

Tipul scurtcircuitului	$I_{dK}$	$I_{sK}$	$I_{TK}$
Trifazat	$\frac{E}{Z_d \Sigma}$	$a^2 \frac{E}{Z_d \Sigma}$	$\frac{E}{a} \frac{E}{Z_d \Sigma}$
Bifazat fără pământare	0	$-\frac{j \sqrt{3} \cdot E}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma}$	$\frac{j \sqrt{3} E}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma}$
Bifazat cu pământare	0	$-\frac{j \sqrt{3} \cdot E (Z_h \Sigma + a Z_0 \Sigma)}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma + Z_h \Sigma + Z_0 \Sigma Z_d \Sigma}$	$\frac{j \sqrt{3} E (Z_h \Sigma - a^2 \cdot Z_0 \Sigma)}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma + Z_h \Sigma + Z_0 \Sigma Z_d \Sigma}$
Monofazat	$\frac{3E}{Z_d \Sigma + Z_0 \Sigma + Z_h \Sigma}$	0	0



Componentele de secvență ale tensiunii la locul de scurtcircuit

Tipul scurtcircuitului	$\underline{V}_{AR}$	$\underline{V}_{BR}$	$\underline{V}_{CR}$
Trifazat	0	0	0
Bifazat fără pământare	$\frac{\underline{Z}_{0\Sigma} \cdot E}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma}}$	$\frac{\underline{Z}_{0\Sigma} \cdot E}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma}}$	0
Bifazat cu pământare	$\frac{\underline{Z}_{0\Sigma} \cdot \underline{Z}_{h\Sigma} E}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma} + \underline{Z}_{0\Sigma} \cdot \underline{Z}_{h\Sigma}}$	$\frac{\underline{Z}_{0\Sigma} \cdot \underline{Z}_{h\Sigma} E}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma} + \underline{Z}_{0\Sigma} \cdot \underline{Z}_{h\Sigma}}$	$\frac{\underline{Z}_{0\Sigma} \cdot \underline{Z}_{h\Sigma} \cdot E}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma} + \underline{Z}_{0\Sigma} \cdot \underline{Z}_{h\Sigma}}$
Monofazat	$\frac{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma}}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma}} \cdot E$	$\frac{-\underline{Z}_{i\Sigma}}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma}} \cdot E$	$\frac{-\underline{Z}_{h\Sigma}}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma}} \cdot E$

Figura 3.34

Componentele de fază ale tensiunii la locul de scurtcircuit

Tipul scurtcircuitului	$\underline{V}_{AR}$	$\underline{V}_{BR}$	$\underline{V}_{CR}$
Trifazat	0	0	0
Bifazat fără pământare	$\frac{2\underline{Z}_{0\Sigma} \cdot E}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma}}$	$\frac{\underline{Z}_{i\Sigma} \cdot E}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma}}$	$\frac{\underline{Z}_{h\Sigma} \cdot E}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma}}$
Bifazat cu pământare	$\frac{3 \cdot \underline{Z}_{0\Sigma} \cdot \underline{Z}_{h\Sigma} \cdot E}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma} + \underline{Z}_{0\Sigma} \cdot \underline{Z}_{h\Sigma}}$	0	0
Monofazat	0	$\frac{[a^2 \cdot \underline{Z}_{0\Sigma} + (a^2 - 1) \cdot \underline{Z}_{h\Sigma}] \cdot E}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma}}$	$\frac{[a \cdot \underline{Z}_{0\Sigma} + (a - 1) \cdot \underline{Z}_{h\Sigma}] \cdot E}{\underline{Z}_{0\Sigma} + \underline{Z}_{i\Sigma} + \underline{Z}_{h\Sigma}}$

arbitrar. Trecerea la impedanța  $Z_b^*$  (exprimată în unități relative) se face cu relația :

$$Z_b^* = \frac{S_b}{U_b^2} \cdot \frac{U^2}{S_n}, \quad (3.114)$$

în care :  $S_b$  este puterea de bază pe o fază, în MVA ; se recomandă alegerea unei puteri de 100 sau 1 000 MVA ;

$U_b$  — tensiunea de bază, în kV ; se alege tensiunea medie de linie la locul scurtcircuitului (tab. 3.49).

Impedanța exprimată în mărimi relative arată de câte ori impedanța  $Z$ , exprimată în ohmi, este mai mare decât impedanța fictivă  $Z_f$ , rezultată din alegerea mărimilor de bază :

$$Z_f = \frac{U_b^2}{S_b}. \quad (3.115)$$

Curentul de bază este

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b}. \quad (3.116)$$

### 1. Calculul impedanțelor (reactanțelor) în unități relative

Reactanța de legătură la barele unui sistem de putere infinită (reactanța sistemului) este

$$X_{sb}^* = \frac{S_b}{S_{sc}}, \quad (3.117)$$

în care :  $S_{sc}$  este valoarea puterii debitate de sistem la scurtcircuit, în punctul față de care se determină reactanța.

Reactanța transformatorului cu două înfășurări este

$$X_{Tb}^* = \frac{U_{sc}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{nx}}. \quad (3.118)$$

### 1. Reactanțele transformatoarelor (autotransformatoarelor) trifazate de putere cu trei înfășurări

Reactanțele celor trei înfășurări  $X_{1b}^*$ ,  $X_{2b}^*$ , și  $X_{3b}^*$  (indicii 1, 2, 3 se referă la înfășurările de î.t., m.t. și respectiv j.t.) pot fi calculate prin relația (3.118), în care se înlocuiește mărimea  $S_{nx}$  cu  $S_{n1}$  — puterea aparentă nominală a înfășurării de î.t., iar tensiunile de scurtcircuit  $U_{sc1}$ ,  $U_{sc2}$ ,  $U_{sc3}$  (în procente) prin mărimile calculate cu ajutorul relațiilor :

$$\begin{aligned} U_{sc1} &= \frac{U_{sc1-2} + U_{sc2-1} - U_{sc2-3}}{2}; \\ U_{sc2} &= \frac{U_{sc2-3} + U_{sc3-2} - U_{sc3-1}}{2}; \\ U_{sc3} &= \frac{U_{sc3-1} + U_{sc1-3} - U_{sc1-2}}{2}. \end{aligned} \quad (3.119)$$

Se obțin :

$$\begin{aligned} X_{1b}^* &= \frac{U_{sc1}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{n1}}, \\ X_{2b}^* &= \frac{U_{sc2}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{n2}}; \\ X_{3b}^* &= \frac{U_{sc3}}{100} \cdot \frac{S_b}{S_{n3}}. \end{aligned} \quad (3.120)$$

Impedanța liniilor este compusă din reactanța

$$X_{lb}^* = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_b}{U_b^2} \quad (3.121)$$

și rezistența

$$R_{lb}^* = R_0 \cdot l \cdot \frac{S_b}{U_b^2}. \quad (3.122)$$

Reactanța bobinelor este

$$X_{Bb}^* = \frac{X_B}{100} \cdot \frac{I_b}{I_{nB}} \cdot \frac{U_B}{U_1}. \quad (3.123)$$

## 2. Reactanța totală și reactanța de calcul

Calculând toate reactanțele și rezistențele raportate la mărimile de bază din schema echivalentă de calcul, pe baza unor transformări și transfigurări succesive (tab. 3.55), rezultă reactanța totală  $X_{\Sigma}^*$  și rezistența  $R_{\Sigma}^*$ .

Tabelul 3.55

Transfigurarea schemelor

Schema	Schemă simplificată sau transformată	Formula de tranziție
		$X = \sum_{i=1}^n X_i$
		$\frac{1}{X} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{X_i}$
		$X_1 = \frac{X_{12} \cdot X_{13}}{X_{12} + X_{13} + X_{23}}$ $X_2 = \frac{X_{12} \cdot X_{23}}{X_{12} + X_{13} + X_{23}}$ $X_3 = \frac{X_{13} \cdot X_{23}}{X_{12} + X_{13} + X_{23}}$
		$X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 \cdot X_2}{X_3}$ $X_{23} = X_2 + X_3 + \frac{X_2 \cdot X_3}{X_1}$ $X_{13} = X_1 + X_3 + \frac{X_1 \cdot X_3}{X_2}$

Se compară  $X_{\Sigma b}^*$  cu  $R_{\Sigma b}^*$ . Dacă  $R_{\Sigma b}^* \leq \frac{1}{3} X_{\Sigma b}^*$ , atunci  $R_{\Sigma b}^*$  se poate neglija și schema de calcul va conține numai reactanța  $X_{\Sigma b}^*$ . În majoritatea cazurilor, datorită valorii mici a rezistențelor, impedanța echivalentă se reduce la reactanța echivalentă raportată.

Reactanța de calcul se determină cu ajutorul formulei:

$$X_{calc}^* = X_{\Sigma b}^* \cdot \frac{\Sigma S}{S_b}, \quad (3.124)$$

în care  $\Sigma S$  este suma puterilor generatoarelor care debitează pe reactanța echivalentă.

### 3. Calculul curenților de scurtcircuit

Calculul curenților de scurtcircuit se efectuează în mod diferit în funcție de valoarea reactanței de calcul.

a. Dacă  $X_{calc}^* > 3$ , atunci componenta periodică a curentului de scurtcircuit este constantă în orice moment. În acest caz regimul de scurtcircuit, datorită distanței electrice mari, este lipsit de regimul tranzitoriu la locul defect și acesta intră în primul moment în regimul permanent de scurtcircuit.

În acest caz

$$I_{sc0} = I_{sc0,2} = I_{scp} = \frac{I_{\Sigma}}{X_{calc}^*}, \quad (3.125)$$

în care:

$$I_{\Sigma} = \frac{\Sigma S}{\sqrt{3} U_b}. \quad (3.126)$$

**Observații.** 1. În cazul în care nu avem date referitoare la sursele care alimentează scurtcircuitul atunci curentul de scurtcircuit se determină din relația:

$$I_{scp} = \frac{I_b}{X_{\Sigma b}^*}, \quad (3.127)$$

unde  $I_b$  este calculat pentru tensiunea la care are loc scurtcircuitul.

2. În cazul în care se cunoaște numai puterea de scurtcircuit pe barele din amonte, calculul se efectuează în ipoteza că  $X_{calc}^* > 3$ , sistemul din amonte se înlocuiește cu  $X_b^*$  (rel. 3.117).

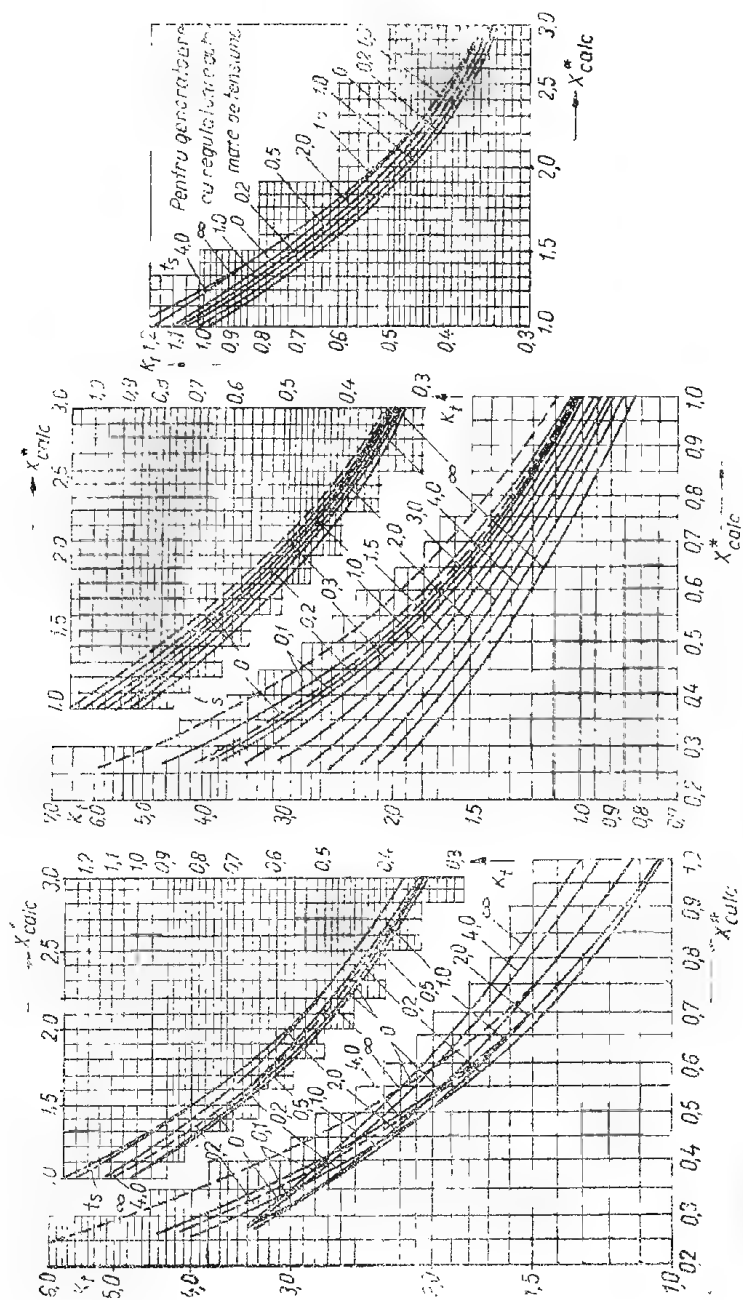
b. Dacă  $X_{calc}^* < 3$ , atunci curentul de scurtcircuit se determină cu relațiile:

$$\begin{aligned} I_{sc0} &= K_0 \cdot I_{nG}; \\ I_{sc0,2} &= K_{0,2} \cdot I_{nG}; \\ I_{scp} &= K_p \cdot I_{nG}, \end{aligned} \quad (3.128)$$

în care  $K_0$ ,  $K_{0,2}$ , și  $K_p$  sînt coeficienți rezultați din curbele de calcul din figura 3.26;  $I_{nG}$  — suma curenților nominali debițați de generatoare;

$$I_{nG} = \Sigma \frac{S_i}{\sqrt{3} U_{ni}}, \quad (3.129)$$

în care  $S_i$  este puterea fiecărei surse, în MVA.



Curbe de calcul pentru generatoare RAT

Fig. 3.26. Nomograme pentru determinarea coeficienților  $K_n$ ,  $K_{n-1}$ ,  $K$

**Observații. 1.** Valoarea eficace a componentei aperiodice este:

$$I_{ap} = \sqrt{2} \cdot I_{sc0} \cdot e^{-\frac{t}{T_{\Sigma}}}, \quad (3.130)$$

unde  $T_{\Sigma}$  este constanta de timp a schemei echivalente

$$T_{\Sigma} = \frac{X_{\Sigma b}^*}{\omega R_{\Sigma b}^*}. \quad (3.131)$$

Constanta de timp pentru generatoare se dă în tabelul 3.56. Alte valori:

- transformatoare cu  $S_n > 10$  MVA ...  $T = 0,03 \div 0,05$  s;
- bobine de reactanță pe linii . . . . .  $T = 0,06 \div 0,1$  s;
- bobine de reactanță pe secții de bare . . . . .  $T = 0,1 \div 0,2$  s.

*Tabelul 3.56*

**Constantele de timp ale generatoarelor**

Tipul turbogenerator	P [kW]	Tensiunea [kV]	Constanta de timp [s]	
			Scurtcircuit trifazic și bifazic	Scurtcircuit monofazic
$T - 2 - 0,5 - 2$	500	0,4/0,23 0,525	0,04 0,042	0,031 0,032
$T - 1 - 1 - 2$	1 000	0,4/23 0,525	0,058 0,056	0,043 0,046
$T - 2A - 1,5 - 2$	1 500	0,04/0,23 0,525 3,15; 6,3	0,066 0,053 0,056	0,046 0,043 0,044
$T2 - 3 - 2$	3 000	3,15; 6,3	0,093	0,076
$T2 - 3,5 - 2$	3 500	3,15; 6,3	0,102	0,089
$T2 - 6 - 2$	6 000	3,15 6,3	0,128 0,128	0,104 0,104
$T2 - 12 - 2$	12 000	3,15; 6,3 10,5	0,162 0,177	0,128 0,145
$T2 - 25 - 2$	25 000	6,3 10,5	0,210 0,222	0,175 0,175
$T2 - 50 - 2$	50 000	10,5	0,270	0,207
$T2 - 100 - 2$	100 000	15,75	0,378	0,300

Constanta de timp  $T_{\Sigma}$  se poate considera în calcul:

$T_{\Sigma} = 0,05$  s pentru scurtcircuit în sistem;

$T_{\Sigma} = 0,01$  s pentru scurtcircuit pe barele generatorului.

Având în vedere că protecția liniilor acționează la un timp  $t_{sc} > 0,20$  s, componenta aperiodică nu prezintă mare importanță. De valoarea ei se ține cont la alegerea întreruptoarelor cu acțiune rapidă.

Valorile coeficientului  $K_t$ 

Tipul generatorului	Momentul $t$ [s]	Valorile $K_t$ pentru cotele de participare a generatorului legat direct cu punctul de scurtcircuit				
		0	0,25	0,5	0,75	1,0
Turbogenerator	0,05	1,10	1,10	1,15	1,20	1,20
	0,10	1,00	1,00	1,05	1,10	1,10
Hidrogenerator cu bobină de amortizare	0,05	1,10	1,15	1,25	1,40	1,50
	0,10	1,00	1,00	1,10	1,20	1,30
Hidrogenerator fără bobină de amortizare	0,05	1,10	1,20	1,40	1,60	1,70
	0,10	1,00	1,00	1,20	1,40	1,50

2. Pentru timpi  $t_{sc} < 0,1$  s, curentul total de scurtcircuit se poate calcula și cu următoarea relație simplificată

$$I_{sc} = K_t \cdot I_{sc0}, \quad (3.132)$$

în care  $K_t$  este un coeficient stabilit empiric ce ține seama de valorile componente periodice și aperiodice (tab. 3.57).

### 3. Calculul curentului de șoc

Curentul de șoc apare după un timp  $t = 0,01$  s (la  $f = 50$  Hz) de la producerea scurtcircuitului și reprezintă cea mai mare valoare instantanee a curentului de scurtcircuit:

$$i_{sc} = K_{\xi} \sqrt{2} \cdot I_{sc0}, \quad (3.133)$$

în care  $K_{\xi}$  este un factor ce depinde de raportul  $R_{\Sigma}/X_{\Sigma}$  al căii de scurtcircuit (fig. 3.27).

Pentru un sistem cu tensiunea nominală  $U_n > 1$  kV:

$K_{\xi} = 1,9$  la scurtcircuit pe barele generatoarelor;

$K_{\xi} = 1,8$  la scurtcircuite în toate celelalte puncte ale sistemului.

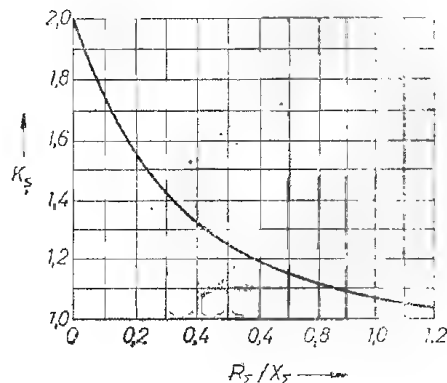
În cazul în care rețeaua în care s-a produs scurtcircuitul alimentează un motor asincron cu puterea peste 1 MW și dacă scurtcircuitul s-a produs în punctul de ramificație al liniei de alimentare a motorului considerat, atunci trebuie luat în considerare și aportul acestuia la curentul de șoc de scurtcircuit:

$$i_{sc} \approx 6,5 I_{nm}, \quad (3.134)$$

în care  $I_{nm}$  este curentul nominal al motorului, în kA.

Succesiunea calculului componente periodice a curentului de scurtcircuit este următoarea:

a) se întocmește schema de calcul în care toate elementele sistemului se înlocuiesc prin impedanțe (reactanțe);

Fig. 3.27. Factorul  $K_{\xi}$ .

- b) se aleg conform indicațiilor  $S_0$  și  $U_0$ , apoi se calculează  $I_0$ ;
- c) se exprimă impedanțele elementelor în unități relative;
- d) se simplifică schema prin transformări și transfigurări și se determină impedanța totală pînă la locul scurtcircuitului;
- e) se determină impedanța de calcul;
- f) se calculează  $I_{sc}$ ,  $S_{sc}$  și  $i_s$ .

### 3.7.5. CALCULUL CURENȚILOR DE SCURT-CIRCUIT ÎN CAZUL REGIMULUI ASIMETRIC PRIN METODA UNITĂȚILOR RELATIVE

Metoda de calcul utilizează același sistem al unităților relative. Pe baza schemelor echivalente de secvență directă, inversă și homopolară a scurtcircuitului și a curbelor de calcul, se determină curentul de scurtcircuit de secvență respectivă ca un curent al scurtcircuitului trifazat echivalent, urmînd ca din ele să se calculeze valorile curenților reali de scurtcircuit pe cele trei faze.

#### 1. Scurtcircuitul bifazat fără punere la pămînt

Schema echivalentă a scurtcircuitului este redată în figura 3.28 în care:

$X_{\Sigma d}^*$  și  $X_{\Sigma i}^*$  sînt reactanțele echivalente de secvență directă și inversă de la sursă la locul de scurtcircuit, în unitățile relative;

$I_{scd}$ ,  $I_{sci}$  — curenții de scurtcircuit de secvență directă și inversă.

În calcule, pentru simplificare, nu se vor lua în considerare rezistențele; în acest caz  $X_{\Sigma d}^* = X_{\Sigma i}^*$ . Reactanța  $X_{\Sigma d}^*$  se calculează întocmai ca și reactanța pe fază de la scurtcircuitul trifazat simetric. Din figura 3.28 se observă că  $I_{scd} = I_{sci}$  și că  $E$ ,  $X_{\Sigma d}^*$  și  $X_{\Sigma i}^*$  sînt legate în serie.

Mersul calculului este următorul:

- a) se aleg  $S_0$  și  $U_0$ ;
- b) se întocmește schema de calcul de secvență directă (identică cu cea de la calculul curentului de scurtcircuit trifazat simetric);
- c) se reduce schema de secvență directă la reactanța echivalentă  $X_{\Sigma d}^*$ ;
- d) se consideră  $X_{\Sigma i}^* = X_{\Sigma d}^*$  fără a mai întocmi schema de secvență inversă;
- e) se calculează reactanțele de calcul:

$$X_{cd}^* = 2X_{\Sigma d}^* \quad (3.135)$$

f) curentul de scurtcircuit se calculează ca și în cazul scurtcircuitului trifazat;

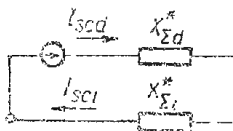


Fig. 3.28. Schema echivalentă a scurtcircuitului bifazat fără punere la pămînt.



g) curenții de scurtcircuit pe cele trei faze se determină cu relațiile:

$$\begin{aligned} I_R &= 0; \\ I_S &= -j\sqrt{3}I_{sc1}; \\ I_T &= j\sqrt{3}I_{sc1}. \end{aligned} \quad (3.136)$$

## 2. Scurtcircuitul bifazat cu punere la pământ

Schema echivalentă a scurtcircuitului este redată în figura 3.29. În acest caz în schema echivalentă apare și reactanța homopolară a circuitului.

Mersul calculului este următorul:

- se aleg  $S_0$  și  $U_0$ ;
- se întocmește schema de secvență directă (ca la scurtcircuitul trifazat);
- se reduce schema de secvență directă la reactanța echivalentă  $X_{\Sigma d}^*$ ;
- se consideră  $X_{\Sigma e}^* = X_{\Sigma d}^*$ , fără a mai întocmi schema de secvență inversă;
- se întocmește schema de calcul pentru secvența homopolară [14] și se determină  $X_{\Sigma h}^*$ ;
- se determină reactanța echivalentă din figura 3.29 și se calculează reactanța de calcul;
- se determină  $I_{scd}$  conform par. 3.7.4, pct. 3;
- cu ajutorul lui  $I_{scd}$  se determină curenții de scurtcircuit pe faze, cu relațiile:

$$\begin{aligned} I_R &= 0; \\ I_S &= \left( a^2 - \frac{X_{\Sigma e}^* + aX_{\Sigma h}^*}{X_{\Sigma e}^* + X_{\Sigma h}^*} \right) I_{scd}; \\ I_T &= \left( a - \frac{X_{\Sigma e}^* + aX_{\Sigma h}^*}{X_{\Sigma e}^* + X_{\Sigma h}^*} \right) I_{scd}. \end{aligned} \quad (3.137)$$

În aceste relații  $a = -\frac{j}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}$  și  $a^2 = -\frac{j}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}$ .

## 3. Scurtcircuitul monofazat cu punere la pământ

Schema echivalentă a scurtcircuitului este redată în figura 3.30.

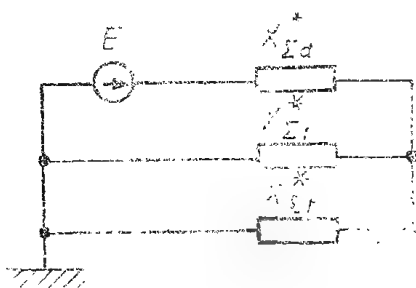


Fig. 3.29. Schema echivalentă a scurtcircuitului bifazat cu punere la pământ.

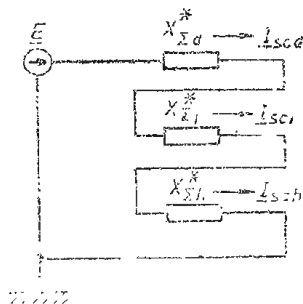


Fig. 3.30. Schema echivalentă a scurtcircuitului monofazat.

Mersul calculului este următorul:

- a) se aleg  $S_b$  și  $U_b$ ;
- b) se întocmește schema de secvență directă;
- c) se reduce schema de secvență directă la reactanța echivalentă  $X_{\Sigma d}^*$ ;
- d) se consideră  $X_{\Sigma i}^* = X_{\Sigma d}^*$ , fără a mai întocmi schema de secvență inversă;
- e) se întocmește schema de secvență homopolară și se reduce la  $X_{\Sigma h}^*$ , în raport cu punctul de defect, [14];
- f) se determină  $I_{sc d}$ , conform par. 3.74. pct. 3;
- g) cu ajutorul lui  $I_{sc d}$  se determină valoarea curentului de scurtcircuit pe faza scurtcircuitată:

$$I_R = 3 \cdot I_{sc d}. \quad (3.138)$$

### 3.8. ALEGEREA ȘI VERIFICAREA ECHIPAMENTULUI ELECTRIC DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Echipamentul electric al unei instalații electrice trebuie astfel ales încît să satisfacă următoarele condiții:

- a) parametrii nominali ai echipamentului să corespundă parametrilor locului în care se instalează;
- b) să reziste supratensiunilor și curenților de scurtcircuit ce pot să apară în regiunile de avarie.

Curenții de scurtcircuit solicită elementele echipamentului din punct de vedere mecanic și termic; solicitarea electrodinamică este determinată de curentul de scurtcircuit de șoc, iar solicitarea termică de valoarea curentului de scurtcircuit și de durata acestuia.

Verificarea echipamentului electric la solicitări mecanice și termice în cazul curenților de scurtcircuit se face prin compararea mărimilor de calcul cu cele de încercare.

La alegerea și verificarea elementului respectiv, trebuie să se aleagă locul de scurtcircuit astfel, încît curentul ce rezultă să determine solicitarea maximă posibilă a elementului.

Condițiile de dimensionare și verificare a echipamentului din instalațiile electroenergetice la solicitări mecanice și termice sînt indicate în [33].

De menționat că generatoarele și transformatoarele nu se verifică la acțiunea curenților de scurtcircuit, deoarece acestea se asigură din acest punct de vedere prin construcția lor.

#### 3.8.1. ÎNTRERUPTOARE

Alegerea întreruptoarelor se face pe baza următoarelor condiții:

— tensiunea nominală

$$U_{ni} \geq U_{n\text{ rețea}}; \quad (3.139)$$

— curentul nominal al întreruptorului

$$I_{ni} \geq I_n \quad (3.140)$$

în care  $I_n$  este curentul cerut;

— felul instalației — de tip interior sau exterior; caracteristicile mediului ambiant;

— posibilitatea ca întreruptorul să execute RAR; în catalogul întreruptorului se precizează dacă poate executa RAR, ce durată trebuie să aibă pauza și cu ce tip de dispozitiv de declanșare este dotat. Timpul de pauză este determinat de durata de rupere - stabilire (maxim 0,3 s) a întreruptorului;

— puterea de rupere a întreruptorului să fie mai mare decât puterea de scurtcircuit în punctul în care se montează:

$$S_r \geq S_{sc} \quad (3.141)$$

Întreruptorul ales se verifică din punct de vedere al stabilității termice și electrodinamice.

Condiția ca întreruptorul să reziste la solicitarea termică este:

$$I_{It} \geq I_{sc, m}$$

în care:  $I_{It}$  este curentul limită termic pentru o secundă, dat în catalog, în kA;

$I_{sc, m}$  — curentul mediu echivalent al scurtcircuitului,

$$I_{sc, m} = I_{sc, 0} \sqrt{(m + n) \cdot t} \text{ [kA]}, \quad (3.142)$$

în care:  $m$  este un coeficient ce ține seama de aportul componentei aperiodice a curentului de scurtcircuit; se determină din figura 3.31,  $a$  în funcție de timpul total al defectului și de factorul de șoc  $K_f$  (fig. 3.27);

$n$  — coeficient care ține seama de variația în timp a valorii eficace a componentei periodice; se determină din figura 3.31,  $b$  în funcție de timpul total de declanșare  $t_{sc}$  și de raportul  $\beta = \frac{I_{sc, 0}}{I_{sc, p}}$ ;

$t_{sc}$  — timpul total de declanșare, format din: timpul de deschidere al contactelor (indicat în catalog) plus timpul de rupere al arcului (0,15 pentru  $U_n \leq 35$  kV și 0,08 s pentru  $U_n > 35$  kV).

**Observații:** 1. Dacă în prospectul întreruptorului este indicat curentul limită termic  $I_{It}$  pentru o durată de timp  $t$ , diferită de 1 secundă, atunci

$$I_{It} = I_{It} \sqrt{t} \quad (3.143)$$

2. În cazurile cînd există RAR funcționînd după schema  $D - T_1 - ID - T_2 - TD$ , atunci curentul mediu de scurtcircuit corespunzător celor trei deschideri se calculează cu relația:

$$I_{sc, m} = \sqrt{I_{sc, m1}^2 + I_{sc, m2}^2 + I_{sc, m3}^2} \quad (3.144)$$

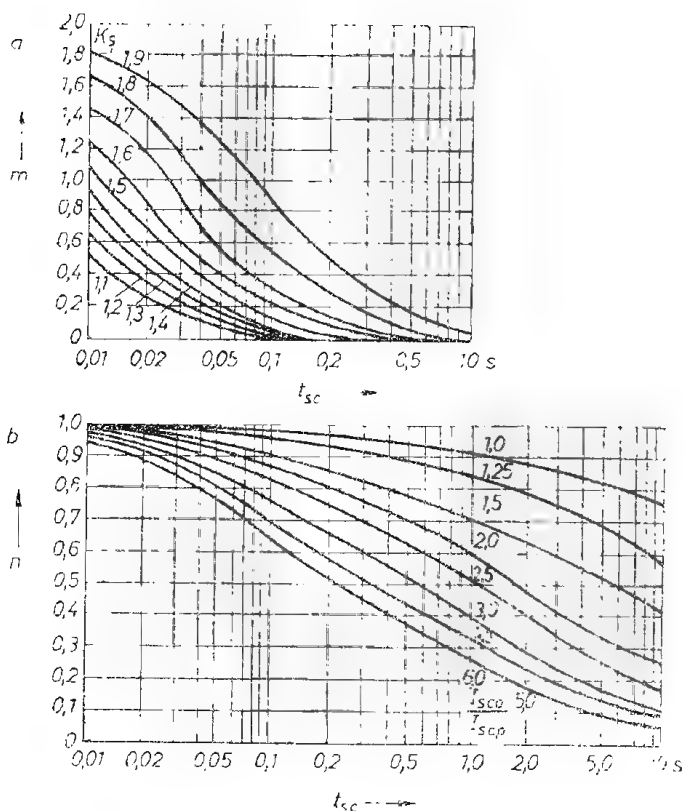


Fig. 3.31. Nomograme pentru calculul curentului mediu echivalent al scurtcircuitului:

$a$  - determinarea coeficientului  $m$ ;  $b$  - determinarea coeficientului  $n$ .

Înteruptorul este stabil din punct de vedere al solicitărilor electro-dinamice dacă:

$$i \leq I_{in}, \quad (3.145)$$

în care  $I_{in}$  este curentul limită dinamic al înteruptorului, indicat în catalog.

### 3.8.2. SEPARATOARE

Alegerea separatoarelor se face pe baza următoarelor condiții:

- tensiunea nominală

$$U_n \geq U_{n\text{refea}}; \quad (3.146)$$

- curentul nominal al separatorului

$$I_n \geq I_c; \quad (3.147)$$

- felul instalației — de tip interior sau exterior; caracteristicile mediului ambiant.

Separatorul ales se verifică la stabilitate termică și electrodinamică în același mod ca înteruptoarele.

### 3.8.3. BOBINE DE REACTANȚĂ (REACTOARE)

Tensiunea nominală este determinată de tensiunea instalației.

Curentul nominal  $I_{nn}$  se ia circa 60 ... 70% din curentul nominal al unei secții de bare (pentru reactoarele de bare) și egal cu curentul liniei (pentru reactoarele de pe linii).

Reactanța procentuală se alege în limitele:

10% ... 12% pentru reactoarele de bare și 4% ... 6% pentru cele de linie.

### 3.8.4. TRANSFORMATOARE DE CURENT

Tensiunea nominală și curentul nominal primar  $I_{1n}$  se aleg ca și la întrerupătoare sau separatoare. Felul și tipul sînt impuse de locul în care se montează.

Clasa de precizie se alege în funcție de aparatele montate în circuitul secundar și anume:

- clasa 0,2 se folosește la măsurători de precizie;
- clasa 0,5 pentru contoarele de energie electrică;
- clasa 1 pentru măsurători normale de exploatare și pentru relee de distanță și putere;
- clasa 3 pentru relee de curent, diferențiale și de semnalizări.

Clasa de precizie indicată în cataloagele transformatoarelor de curent se respectă dacă curentul prin transformator este cel nominal și dacă sarcina secundară este cuprinsă între 25% și 100% din cea indicată în catalog.

Pentru alegerea transformatoarelor de curent este necesar să se întocmească schema de conexiuni trifilară a instalației de măsură, pentru a se putea stabili impedanța de sarcină a transformatorului de curent [48].

Neglijînd reactanța circuitelor de măsură, impedanța de sarcină este dată de relația:

$$Z_2 \approx r_2 = \Sigma r_{ep} + r_{con} + r_{cont} \quad (3.148)$$

în care:  $r_{ep}$  este rezistența aparatelor de măsură;

$r_{con}$  — rezistența conductoarelor de legătură;

$r_{cont}$  — rezistențele de contact (se ia aproximativ 0,1Ω pentru toate contactele din circuit).

În acest caz, puterea consumată de circuitul secundar la curentul nominal este:

$$P_2 = I_{2n}^2 \cdot r_2.$$

Se impune ca

$$P_2 \leq P_2. \quad (3.149)$$

Verificarea la stabilitatea electrodinamică impune îndeplinirea condiției:

$$i \leq \sqrt{2} I_{dn}$$

în care  $I_{dn}$  este curentul limită dinamic indicat cu catalog funcție de tipul transformatorului de curent.

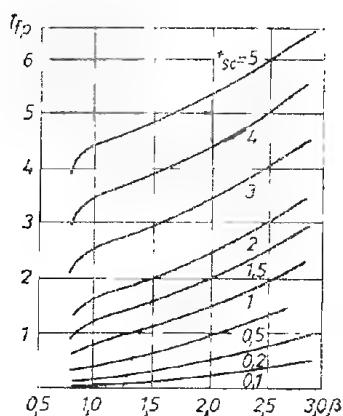


Fig. 3.32. Diagrama pentru determinarea timpului  $t_{fp}$ .

Verificarea la stabilitate termică se face pe baza condiției:

$$I_{sc\ p}^2 \cdot t_f \leq I_{tt}^2 \cdot t_{tt}, \quad (3.150)$$

în care:  $I_{tt}$  este curentul limită termic al transformatorului de curent, pentru timpul  $t_{tt}$  (indicat în catalog);

$t_f$  — timpul fictiv total:  $t_f = t_{fp} + t_{fa}$ ;  $t_{fp}$ , timpul fictiv periodic, care se determină din figura 3.32 funcție de durata  $t_{ic}$  a scurtcircuitului și de raportul  $\beta = \frac{I_{sc\ o}}{I_{sc\ p}}$ ;

$t_{fa}$  — timpul fictiv aperiodic, care se determină cu relația

$t_{fa} = 0,05 \beta^2$ . Deoarece  $t_{fa} \approx 0,05$  s, la  $t_{ic} > 1$  s acesta poate fi considerat neglijabil față de timpul  $t$ .

### 3.8.5. TRANSFORMATOARE DE TENSIUNE

Tensiunea nominală primară este funcție de schema de conexiuni a înfășurărilor primare (fig. 3.33) și va avea valorile:

$$U_{1n} = U_{n\ rețea} \text{ (pentru figura 3.33, a și b);}$$

$$U_{1n} = \frac{U_{n\ rețea}}{\sqrt{3}} \text{ (pentru figura 3.33, c, d, e, f, g și h).}$$

**Observații.** 1. Transformatoarele de tensiune vor admite o creștere permanentă a tensiunii rețelei cu 20% peste cea nominală. Pentru transformatoarele fabricate în țară, această condiție este automat asigurată prin construcție.

2. Transformatoarele de tensiune fabricate în țară nu pot funcționa la tensiuni mai mici de 80% din tensiunea nominală; în caz contrar erorile de măsură depășesc limita admisibilă.

Tensiunea nominală secundară are valorile:

$$U_{2n} = 100 \text{ V (pentru figura 3.33, a și b);}$$

$$U_{2n} = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ V (pentru figura 3.33, c, d, e, f, g și h).}$$

Tensiunea nominală a înfășurărilor secundare auxiliare (pentru măsurarea componentei homopolare) va fi:

— în cazul rețelelor cu neutrul izolat sau legat la pământ prin bobină de stingere (fig. 3.33, d și f):

$$U_{3n} = \frac{100}{3} [\text{V}]; \quad (3.151)$$

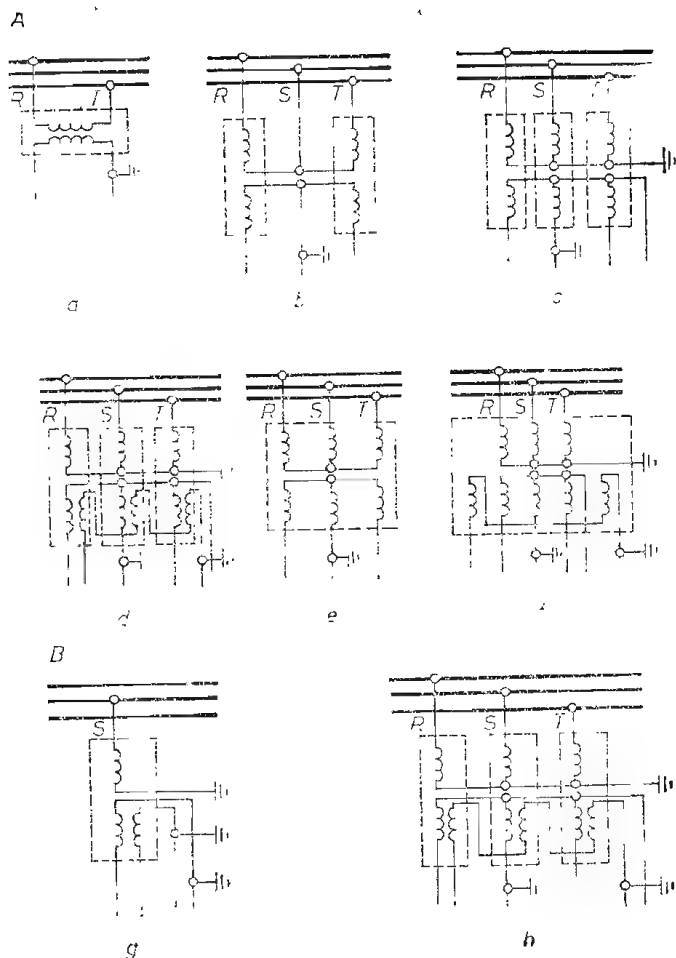
— în cazul rețelelor cu neutrul legat direct la pământ, (fig. 3.33 h):

$$U_{3n} = 100 \text{ V.} \quad (3.152)$$

Fig. 3.33. Modurile de racordare a transformatoarelor de tensiune:

A — rețea cu neutru izolat sau legat la pământ prin bobina de stingere; a — transformator monofazat; b — două transformatoare monofazate în V; c — trei transformatoare monofazate în stea, cu o singură înfășurare secundară; d — trei transformatoare monofazate în stea, cu două înfășurări secundare; e — transformator trifazat în stea, având miezul magnetic cu trei coloane; f — transformator trifazat în stea, având miezul magnetic cu cinci coloane.

B — rețea cu neutru legat direct la pământ; a — un transformator monofazat; b — trei transformatoare monofazate în stea.



Puterea consumată de fiecare înfășurare nu va depăși puterea nominală a acesteia. Se recomandă ca fazele să fie încărcate cât mai uniform.

Dacă puterea nominală a înfășurării este depășită, se poate adopta una din următoarele soluții, care urmează a fi justificată economic:

- alegerea unor transformatoare de tensiune cu o putere secundară nominală mai mare;
- alegerea unor transformatoare de tensiune cu mai multe înfășurări secundare și repartizarea corespunzătoare a aparatelor alimentate;
- dublarea transformatoarelor de tensiune, fiecare dintre ele alimentând o parte din aparate.

Referitor la clasa de precizie:

— pentru alimentarea aparatelor de măsură este necesară de regulă clasa de precizie 0,5;

— pentru alimentarea aparatelor de protecție și automatizare sînt necesare următoarele clase de precizie: clasa 1 — pentru regulatoare de

tensiune, relee direcționale și de distanță; clasa 3 — pentru relee de tip voltmetric.

În cazurile în care același înfășurare alimentează mai multe categorii de aparate, care necesită clase de precizie diferite, înfășurarea va avea clasa de precizie cea mai bună dintre cele necesare.

Transformatoarele de tensiune nu se verifică la stabilitate electrodinamică și termică, deoarece ele nu sînt supuse acțiunii curenților de scurt-circuit.

### 3.8.6. SIGURANȚE FUZIBILE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Alegerea siguranțelor fuzibile se face pe baza următoarelor condiții:  
— felul instalației (pentru montaj interior se aleg SFI sau SFIT, iar pentru montaj exterior SFE sau SFET);

— numărul de poli (pe fiecare fază se folosește cite o siguranță);  
— tensiunea nominală și curentul nominal al fuzibilului se aleg ca și la întreruptoare;

— fuzibilul nu se topește la curentul de suprasarcină al circuitului pe o durată delimitată, fapt care se verifică cu ajutorul caracteristicii timp-curent;

— fuzibilul suportă șocurile de curent de scurtă durată care apar în regim normal, fără a se topi;

— este asigurată selectivitatea.

**Observații.** Pentru transformatoarele tipizate cu puteri nominale pînă la 1000 kVA, curenții nominali ai siguranțelor fuzibile pe partea de înaltă tensiune sînt indicați în tabelul 3.58.

Tabelul 3.58

Curenții nominali ai siguranțelor de înaltă tensiune pentru protecția transformatorilor tipizate (valori informative)

Puterea nominală a transformatorului [kVA]	Curentul nominal al fuzibililor, în A, la diverse tensiuni nominale				
	6 kV	10 kV	15 kV	20 kV	35 kV
25	10	6,3	6,3	6,3	6,3
40	10	6,3	6,3	6,3	6,3
63	16	10	10	6,3	6,3
100	25	16	10	10	6,3
160	40	25	16	16	10
250	63	31,5	25	25	16
400	80	40	40	31,5	25
630	100	63	63	40	31,5
1 000	150	80	80	63	40

— Capacitatea de rupere a siguranței:

$$I_{rf} \geq I_{sc0}, \quad (3.153)$$

în care  $I_{rf}$  este curentul de rupere simetric nominal al fuzibilului (tab. 3.20).



### 3.8.7. DESCĂRCĂTOARE CU REZISTENȚĂ VARIABILĂ

Descărcătoarele cu rezistență variabilă se aleg pe baza următoarelor condiții:

— tensiunea nominală a descărcătorului se alege astfel încît să îndeplinească condiția:

$$U_{nD} \geq \frac{\alpha_p \cdot U_{MS}}{100}, \quad (3.154)$$

în care:  $U_{nD}$  este tensiunea nominală a descărcătorului, în kV;

$U_{MS}$  — tensiunea maximă de serviciu a rețelei (între faze), în kV (tab. 3.59);

$\alpha_p$  — coeficientul de legare la pămînt în punctul de instalare a descărcătorului, în %;

Tabloul 3.59

Tensiunile maxime de serviciu ale rețelilor de energie din R. S. România (STAS 6484-67)

Tensiunea nominală, în kV	6	10	15	20	25	35	60	110	220	400
Tensiunea maximă de serviciu, în kV	7,2	12	17,5	24	30	42	72,5	125	245	420

— curentul de descărcare nominal -- se alege:

— 10 kA la instalațiile importante și cu tensiuni  $U \geq 110$  kV;

— 5 kA sau mai mic, la instalațiile mai puțin importante.

Pentru descărcătoarele legate la punctele neutre ale transformatoarelor cu izolație plină

$$U_{nD} \geq 0,7 U_{MS}. \quad (3.155)$$

După alegerea descărcătorului se verifică raportul de protecție  $R_p$ , pentru a vedea dacă protecția acestuia asupra echipamentului considerat este satisfăcătoare:

$$R_p = \frac{U_i}{U'_p} \geq 1,1 \dots 1,2, \quad (3.156)$$

în care:  $U_i$  este tensiunea de încercare la impuls a izolației echipamentului protejat, în kV (tab. 3.60);

$U'_p$  — nivelul de protecție local al echipamentului considerat conform relației

$$U'_p = U_p + \frac{2 \cdot a \cdot l}{k} \text{ [kV]}; \quad (3.157)$$

$U_p$  — nivelul de protecție la impuls la bornele descărcătorului, valoarea de vîrf a tensiunii de amorsare pe frontul undei, în kV — tabelul 3.23;

$a$  — panta undelor de tensiune incidente, raportată la unitatea de lungime, în kV/m;  $a = 0,5 \div 1,7$  kV/m pentru LEA protejate efectiv;  $a = 1,5 \div 3,3$  kV/m pentru LEA neprotejate efectiv;

Nivelele de protecție la impuls pentru echipamentul de interior și de exterior, conform STAS 6489-67

Tensiunea nominală (valoare efectivă) [kV]	Tensiunea maximă de serviciu (valoare efectivă) [kV]	Tensiunea maximă admisibilă a nivelelor de protecție (amplitudine) [kV]	
		Coloana 1 Izolație plină	Coloana 2 Izolație redusă
3	3,6	26	—
6	7,2	38	—
10	12	55	—
15	17,5	75	—
20	24	95	—
25	30	115	—
35	42	150	—
60	72,5	250	—
110	125	410	355
220	245	800	680
400	420	—	1 100

- $l$  — distanța dintre descărcător și echipamentul considerat, măsurată în lungul circuitelor, în m ;
- $k$  — coeficient care ține seama de influența schemei electrice a instalației asupra propagării și reflexiei undelor :  $k = 1$ , pentru stații la care sînt racordate una sau două linii ;  $k = 1,5$ , pentru stații la care sînt racordate în permanență cel puțin trei linii.

Observație. Dacă valoarea lui  $R_p$  este nesatisfăcătoare, se pot lua diverse măsuri dintre care în primul rînd se recomandă reducerea distanței  $l$  prin instalarea de descărcătoare suplimentare.

### 3.9. PROTECȚIA INSTALAȚIILOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Pentru asigurarea unei funcționări normale a instalațiilor și pentru evitarea deteriorării echipamentului se folosesc dispozitive automate de protecție prin relec.

Protecția prin relec și automatizarea instalațiilor trebuie să asigure limitarea avariilor apărute și asigurarea alimentării fără întrerupere cu energie electrică, în condiții de calitate și siguranță.

Ea are în general două funcțiuni principale :

— separarea elementului avariat de restul instalațiilor electrice și asigurarea funcționării în continuare a acestora, în condiții normale ;

— sesizarea regimurilor anormale (nepermise) de funcționare a instalațiilor electrice și semnalizarea lor, pentru a se preveni apariția unor avarii.

Pentru îndeplinirea acestor două funcțiuni fundamentale, dispozitivele de protecție, indiferent de tipul sau principiul constructiv pe care se bazează, trebuie să satisfacă următoarele condiții generale:

— *selectivitatea*, adică deconectarea doar a elementului avariat și permiterea funcționării în continuare a instalațiilor neavariate;

— *sensibilitatea*, adică sesizarea tuturor defectelor și a regimurilor anormale de funcționare, atunci când ele se deosebesc doar cu puțin de regimul de funcționare normal al instalațiilor;

— *rapiditatea*, care este necesară pentru că numai o deconectare rapidă a elementelor avariate poate rămâne fără urmări asupra funcționării instalațiilor neavariate;

— *siguranța*, adică acționarea numai în cazul când este necesar.

### 3.9.1. PRINCIPALELE TIPURI DE PROTECȚIE PRIN RELEE

Tipurile principale de protecție prin relee sînt: protecția de curent, de tensiune, direcțională, diferențială, de distanță și cu relee de gaze.

1. *Protecția de curent* se realizează cu relee maximale de curent, de cele mai multe ori secundare; protecția acționează atunci când curentul  $I$  prin elementul protejat crește peste o anumită valoare denumită curentul de pornire a protecției  $I_{pp}$ , adică:

$$I > I_{pp}, \quad (3.158)$$

$$I_{pp} = I_{pr} \cdot n_{TC},$$

în care:  $I_{pr}$  este valoarea curentului de pornire al releului;

$n_{TC}$  — raportul de transformare al transformatoarelor de curent care alimentează releele.

Pentru ca protecția de curent să nu acționeze în regim normal este necesar să fie îndeplinite condițiile:

$$I_{pp} > I_n \quad (3.159)$$

și

$$I_{pp} > I_{SM},$$

în care  $I_{SM}$  este curentul maxim de sarcină.

Protecția maximală de curent deși are o sensibilitate redusă este cea mai utilizată, deoarece este una din cele mai simple și economice protecții.

În practică, cele mai frecvente tipuri de protecții maximale de curent sînt următoarele.

a) Protecția maximală de curent cu secționare se folosește pentru a proteja elementul împotriva scurtcircuitelor. În acest caz curentul de pornire al protecției este:

$$I_{pp} = K_{sig} \cdot I_{sc}, \quad (3.160)$$

în care:  $K_{sig}$  este un coeficient de siguranță care se ia între limitele 1,1 ÷ 1,15;

$I_{sc}$  — curentul de scurtcircuit din cel mai apropiat punct exterior al zonei protejate.

Protecția acționează instantaneu.

b) Protecția maximală de curent temporizată se folosește împotriva suprasarcinilor, a scurtcircuitelor polifazate și împotriva punerilor la pământ. Curentul de pornire al protecției este

$$I_{pp} = \frac{K_{sz}}{K_{rev}} \cdot I_{SM}, \quad (3.161)$$

în care:  $K_{sz}$  este un coeficient de siguranță (1,2 ÷ 1,5);

$K_{rev}$  — coeficientul de revenire al releului maximal de curent (0,8 ÷ 0,9);

$I_{SM}$  — curentul maxim de sarcină, în A.

Temporizarea protecției se realizează cu un releu de timp. Pentru realizarea selectivității protecției, temporizările releului de timp se aleg în trepte, astfel încât de la sursă spre consumator temporizarea la fiecare treaptă să fie cu  $\Delta t$  mai mică. Treapta de timp este  $\Delta t = 0,5$  secunde pentru rele indirecte și 1 secundă pentru rele directe.

2. *Protecția de tensiune* acționează atunci când tensiunea scade (protecția minimală) sau crește (protecția maximală) peste valoarea reglată.

Protecția se realizează cu rele de tensiune (minimale sau maxime). În acest caz condițiile pentru funcționarea protecției sînt:

— la protecția minimală de tensiune:

$$\begin{aligned} U &< U_{pp}; \\ U_{rp} &< U_n; \\ U_{rz} &< U_{min, exp.} \end{aligned} \quad (3.162)$$

În aceste relații:

$U_{pp}$  este tensiunea de pornire a protecției;

$U_{rp}$  — tensiunea rețelei;

$U_n$  — tensiunea nominală a rețelei;

$U_{min, exp.}$  — tensiunea minimă admisă în exploatare;

— la protecția maximală de tensiune:

$$\begin{aligned} U &> U_{pp}; \\ U_{rp} &> U_n; \\ U_{rp} &> U_{min, exp.} \end{aligned} \quad (3.163)$$

3. *Protecția direcțională* acționează numai în cazul în care apare o modificare importantă a defazajului dintre curentul și tensiunea din circuitul protejat. Protecția se realizează cu ajutorul releelor direcționale numite și rele de putere. Protecția direcțională se utilizează în combinație cu alte protecții, cum este spre exemplu protecția maximală de curent sau protecția de distanță, în rețelele cu alimentare de la două capete.

4. *Protecția diferențială* acționează numai în cazul în care apare o diferență între valorile curenților de la cele două capete ale zonei protejate. Zona protejată este delimitată de transformatoarele de curent care se leagă diferențial.

5. *Protecția de distanță* se realizează cu rele de impedanță, care acționează atunci când impedanța circuitului protejat se micșorează sub valoarea reglată.

6. *Protecția cu relee de gaze* (Buchholz) se folosește exclusiv pentru transformatoarele și autotransformatoarele de putere în ulei. Funcționarea protecției se bazează pe degajarea de gaze, care se produce în cazul defectelor survenite în interiorul transformatorului. Protecția se realizează cu relee Buchholz care se montează pe conducta de legătură dintre cuvă și conservator.

Avantajele protecției de gaze sînt: simplitate, sensibilitate, rapiditate, comanda semnalizării sau a declanșării în funcție de caracterul defectelor; este cea mai sensibilă dintre protecțiile transformatorului în cazul scurtcircuitelor între spire.

### 3.9.2. PROTECȚIA TRANSFORMATOARELOR

Transformatoarele se prevăd cu protecții prin relee împotriva următoarelor defecte sau regimuri anormale de funcționare:

- scurtcircuite polifazate între înfășurări sau între bornele acestora;
- scurtcircuite între spirele aceleași înfășurări;
- scurtcircuite monofazate în rețelele cu neutrul legat direct la pămînt;
- supracurenți prin înfășurări, provocați de scurtcircuite sau supra-sarcini exterioare;
- scăderea nivelului uleiului și degajări de gaze provocate de defecte în interiorul cuvei;
- supratemperaturi.

Protecțiile împotriva defectelor și a regimurilor anormale de funcționare enumerate mai sus, trebuie să fie prevăzute cu declanșare, semnalizare sau descărcare automată a sarcinii, după cum urmează.

a) Pentru transformatoarele cu putere de 1 000 kVA și mai mare se prevede o protecție de gaze împotriva defectelor din interiorul cuvei transformatorului; protecția trebuie să acționeze la semnalizare în cazul unor slabe degajări de gaze, la scăderea nivelului uleiului și să declanșeze întreruptoarele în cazul degajării intense de gaze.

b) Pentru protecția împotriva defectelor interioare precum și pentru protecția împotriva defectelor de la borne se prevede fie o protecție diferențială, fără temporizare, la transformatoarele cu o putere de 1 000 kVA sau mai mare, fie o secționare de curent, fără temporizare, instalată pe partea alimentării și protejînd o parte a înfășurării transformatorului. Protecția comandă declanșarea întreruptoarelor.

c) Împotriva curenților provocați de scurtcircuitele exterioare, se prevăd una din următoarele protecții prevăzute cu declanșare:

- o protecție de distanță cu caracteristică de acționare în trepte bidirecțională, montată pe partea alimentării principale sau două protecții de distanță direcționate spre transformator la transformatoarele cu o putere de 200 MVA sau mai mare;
- o protecție maximală de curent de secvență inversă, cu anexă pentru acționare la scurtcircuite simetrice sau o protecție maximală cu blocaj de tensiune minimă la transformatoarele cu o putere de 4 000 kVA sau mai mare;
- o protecție maximală de curent, cu sau fără blocaj de tensiune minimă, la transformatoarele coboritoare de tensiune,

— o protecție cu siguranțe pe partea de înaltă tensiune la transformatoarele cu o putere de maximum 1 000 kVA care alimentează rețele sau instalații cu tensiune sub 1 000 V.

d) Transformatoarele cu puteri de la 10 MVA în sus vor fi prevăzute cu o protecție de semnalizare a supratemperaturilor.

În figura 3.34 este prezentată schema generală de protecție a unui transformator de 10 MVA, 110/6 kV.

Calculul detaliat al protecțiilor este prezentat în lucrarea [2].

### 3.9.3. PROTECȚIA LINIILOR ELECTRICE

Protecția liniilor electrice depinde de modul de tratare a neutrului în rețea.

a) În rețelele cu neutrul izolat sau tratat prin bobine de stingere, liniile electrice aeriene și în cablu se vor proteja împotriva următoarelor tipuri de defecte :

- scurtcircuite între faze ;
- puneri la pământ pe două faze (dublă punere la pământ pe faze diferite) ;
- puneri la pământ monofazate.

Protecțiile împotriva acestor defecte se realizează de regulă cu o singură treaptă temporizată și se montează pe două faze ; în cazul în care temporizarea declanșării perturbă consumatorii racordați pe liniile învecinate neavariate sau se obțin timpi mai mari de 3 secunde la protecțiile de rezervă ale transformatoarelor din amonte cu tensiunea înaltă de 100 kV sau mai mult, se admite ca protecția contra scurtcircuitelor între faze să se realizeze cu două trepte.

Pentru liniile radiale se prevede o protecție maximală de curent în două trepte : prima va fi instantanee (secționare de curent), iar a doua temporizată ; protecția se va instala pe două faze numai la capătul de alimentare.

La liniile electrice cu tensiunea peste 20 kV, urmate de încă cel puțin două linii succesivă, se poate monta o protecție de distanță.

Liniile alimentate de la ambele capete vor fi protejate printr-o protecție maximală de curent direcțională, în două trepte.

b) În rețelele cu neutrul legat direct la pământ sau prin rezistență, liniile electrice se vor proteja împotriva scurtcircuitelor polifazate și monofazate printr-o protecție de bază și una de rezervă.

La liniile radiale cu stație de capăt, protecția împotriva defectelor între faze se va realiza cu o protecție maximală cu două trepte de curent și de timp ; treapta de timp mai scurt se va desensibiliza față de curentul de scurtcircuit de pe bara de joasă tensiune a stației și poate fi cu o treaptă de timp superioară protecției rapide împotriva defectelor interioare ale transformatoarelor.

Protecția împotriva defectelor monofazate constă dintr-o protecție maximală de curent homopolar într-o singură treaptă temporizată, care respectă condițiile indicate mai sus ; protecția va asigura întreaga linie și întreaga înfășurare a transformatoarelor pe partea pe care neutrul este legat la pământ.

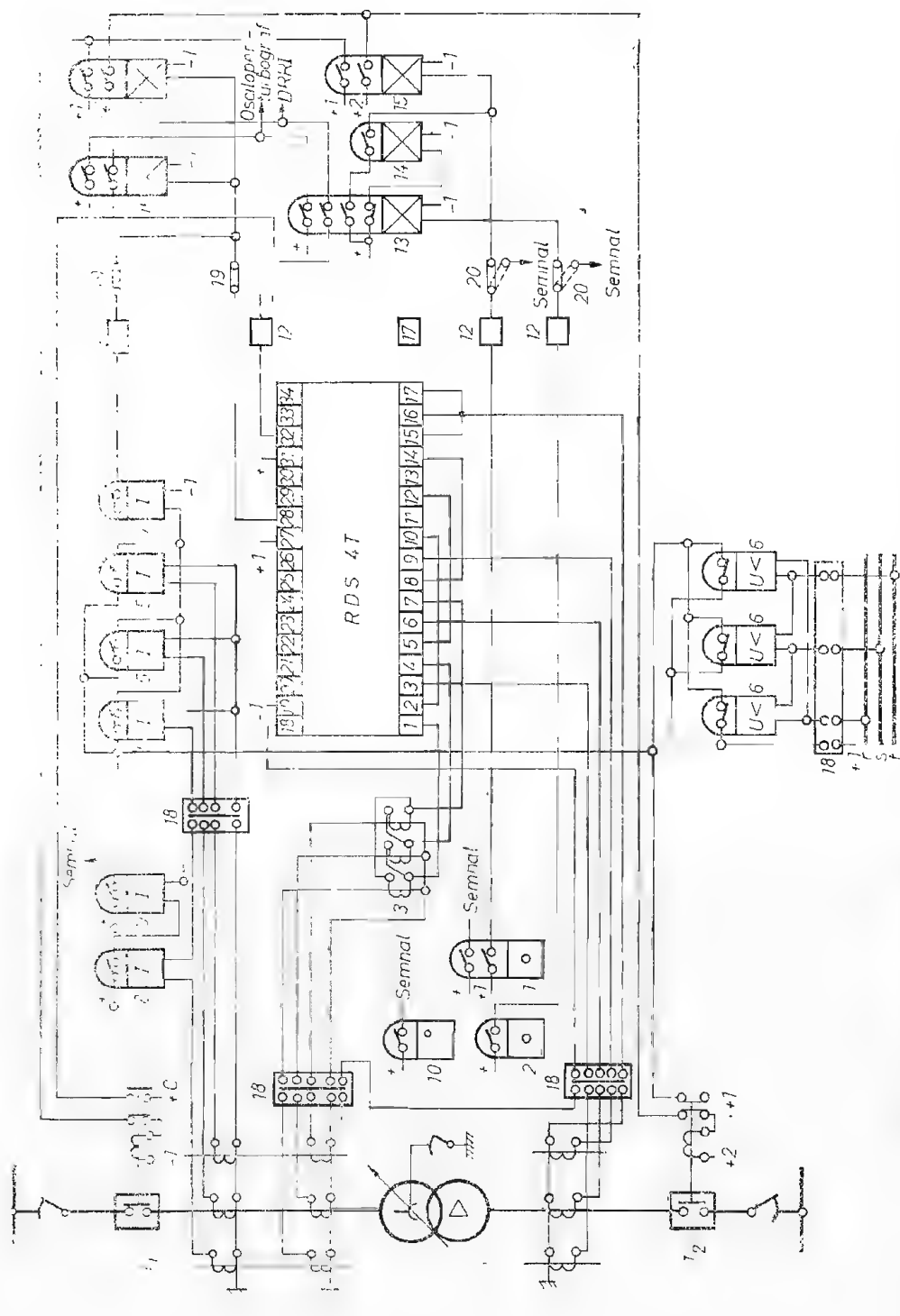


Fig. 3.34. Schemă generală de protecție a unui transformator de 10 MVA, 110/6 kV, cu reglaj în sarcină:

1 — relee cu gaze; 2 — relee de presiune; 3 — transformator de egalizare; 4 — relee diferențial; 5, 8 — relee de tensiune; 7, 9 — relee de timp; 10 — relee de temperatură; 11, 12 — relee de semnalizare; 13, 17 — relee intermediare; 18 — bloc de încercare; 19, 20 — dispozitive de deconectare.

Pentru liniile de interconexiune, protecția de bază va fi asigurată printr-o protecție de distanță, iar protecția de rezervă va fi constituită de o protecție maximală de curent homopolar cu blocaj direcțional, cu una sau două trepte.

#### 3.9.4. PROTECȚIA BARELOR COLECTOARE ȘI A CUPLELOR

Pentru barele colectoare se preferă utilizarea protecției diferențiale care acționează fără temporizare la declanșarea tuturor elementelor conectate la bara defectată.

Cuplele transversale și combinate vor fi prevăzute cu sisteme de protecție care să poată constitui rezerva protecției oricărei linii racordate la barele respective, în cazul în care protecția proprie a liniei este indisponibilă; de asemenea, aceeași protecție trebuie să permită și separarea celor două sisteme de bare la defecte pe liniile racordate la bare neizolate de întreruptoarele respective sau la defecte pe bare. Protecțiile adoptate pentru cuplele combinate sînt aceleași ca și pentru linii.

Pentru cuplele longitudinale se va prevedea o protecție maximală nedirecțională.

Cuplele de transfer echipate cu transformatoare de curent se vor prevedea cu aceleași sisteme de protecție și dispozitive de reanclanșare ca la majoritatea liniilor racordate la barele respective; în cazul cînd cuplele de transfer nu sînt prevăzute cu transformatoare de curent, întreruptorul cuplei va fi declanșat de protecția atașată elementului trecut pe întreruptorul cuplei.

#### 3.9.5. PROTECȚIA RECEPTOARELOR ALIMENTATE ÎN MEDIE TENSIUNE

Principalele receptoare alimentate direct de la barele de medie tensiune sînt motoarele electrice asincrone sau sincrone. Motoarele electrice cu tensiunea de la 1 kV în sus vor fi prevăzute cu protecții prin relec împotriva următoarelor defecte sau regimuri anormale de funcționare:

- scurtcircuite polifazate în înfășurarea statorului;
- puneri la pămînt în înfășurarea statorului;
- defecte în înfășurarea rotorului: scurtcircuite polifazate sau puneri la pămînt;
- suprasarcini;
- scăderea tensiunii de alimentare sub limitele admise;
- funcționarea în regim asincron a motoarelor sincrone;
- întreruperea ungerii sau a ventilației forțate.

Protecția la scurtcircuit a motoarelor electrice se realizează prin:

- protecție maximală rapidă, desensibilizată față de curenții de pornire, pentru motoare cu puterea mai mică de 5 MW; protecția se realizează cu relec maximale de curent cu caracteristică independentă, de tipul RC-1;

- protecție diferențială longitudinală, montată de regulă pe două faze, pentru motoarele electrice cu puteri mai mari de 5 MW sau pentru



cele sub 5 MW la care protecția maximală rapidă nu asigură sensibilitatea necesară.

Protecția contra punerilor monofazate la pământ a circuitului statoric la motoarele pentru tensiuni peste 1 kV racordate la rețele cu neutru izolat se aplică:

— la motoarele sub 2 MW, când curentul de punere la pământ, respectiv curentul rezidual depășesc 10 A;

— la motoarele de 2 MW și mai mari, când curentul de punere la pământ, respectiv curentul rezidual depășește 5 A.

Protecția contra suprasarcinilor se realizează printr-o protecție maximală de curent, cu relee maximale de curent sau tensiune, cu o temporizare de minimum 10 s; protecția acționează obișnuit la semnalizare sau declanșare, în cazurile în care motoarele lucrează fără supraveghere permanentă, au condiții grele de pornire și autopornire sau nu pot fi descărcate fără oprire.

Protecția contra scăderilor de tensiune comandă deconectarea motorului și se prevede:

— când deconectarea ușurează autopornirea altor motoare de importanță mai mare în procesul tehnologic;

— când motoarele sînt conectate la rețea prin aparate de pornire acționate manual;

— când autopornirea motoarelor nu este permisă de procesul tehnologic sau este periculoasă pentru securitatea personalului de exploatare.

În alte cazuri acest gen de protecție nu este indicat.

În figura 3.35 este indicată protecția unui motor asincron utilizînd releele secundare, iar în figura 3.36 — cu relee de curent primare.

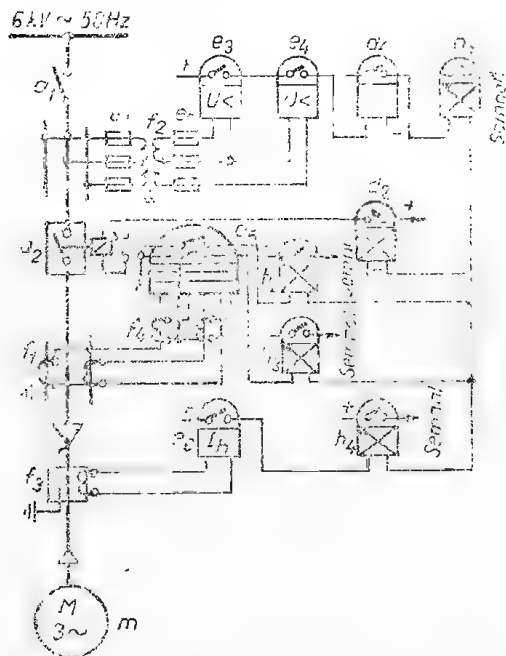


Fig. 3.35. Schema electrică pentru protecția unui motor asincron de înaltă tensiune de uz normal, utilizînd relee secundare.

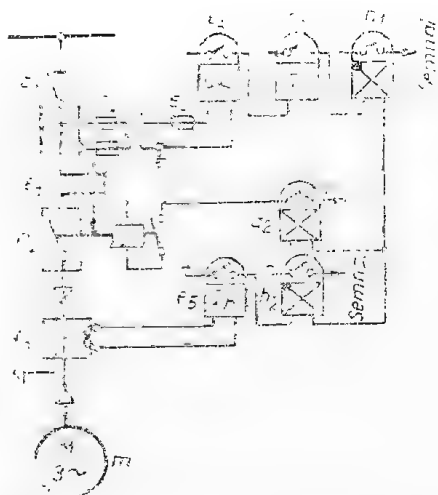


Fig. 3.36. Schema electrică pentru protecția unui motor asincron de înaltă tensiune utilizînd relee de curent primare.

### 3.9.6. ANCLANȘAREA AUTOMATĂ A ALIMENTĂRII DE REZERVĂ (AAR)

Anclanșarea automată a alimentării de rezervă are drept scop creșterea siguranței în funcționare, asigurarea continuității în alimentarea cu energie electrică, simplificarea schemelor de alimentare pentru anclanșarea de siguranță, reducerea personalului de exploatare.

Prin AAR se înțeleg dispozitivele care în cazul deconectării din orice cauză a alimentării normale, conectează automat alimentarea de rezervă.

Dispozitivele AAR se prevăd în stațiile și posturile de transformare care au două căi de alimentare pentru barele care, rămase fără tensiune, ar crea întreruperi în alimentarea consumatorilor importanți. Întrarea în funcțiune a AAR se face cu controlul prezenței tensiunii pe calea alimentării de rezervă; ea va fi condiționată neapărat de deconectarea prealabilă a căii normale de alimentare și se va face:

- temporizat, la dispariția tensiunii pe bara alimentată; tensiunea de reglaj se alege astfel încât AAR să nu se producă la o scădere de tensiune provocată de un defect pe altă bară;

- rapid, la declanșarea unuia din întreruptoarele alimentării normale.

Schemele AAR trebuie să semnalizeze optic punerea sau scoaterea lor din funcțiune, precum și pornirea lor; instalația AAR se prevede cu un buton sau o cheie pentru scoaterea ei din funcțiune în cazul în care se execută manevre cu întreruptorul alimentării principale sau revizii ale instalației de automatizare.

În figura 3.37 sunt prezentate câteva scheme AAR caracteristice pentru rețelele de distribuție, iar în figura 3.38 - schema anclanșării automate a unei linii de rezervă.

Schema AAR este pornită de releele minime de tensiune ( $RT1$ ,  $RT2$ ), care acționează și excită releul de timp ( $RT_0$ ) care după temporizarea fixată determină acționarea întregii scheme - controlul prezenței tensiunii pe barele alimentării de rezervă, declanșarea întreruptorului alimentării principale și comutarea alimentării de rezervă. La orice schemă AAR, trebuie respectate niște principii esențiale și anume:

- indiferent de cauză care determină anclanșarea automată a rezervei, aceasta se produce o singură dată, astfel că în cazul unui defect persistent pe bară să se evite anclanșări repetate;

- anclanșarea automată a rezervei se efectuează întotdeauna numai după ce întreruptorul alimentării de

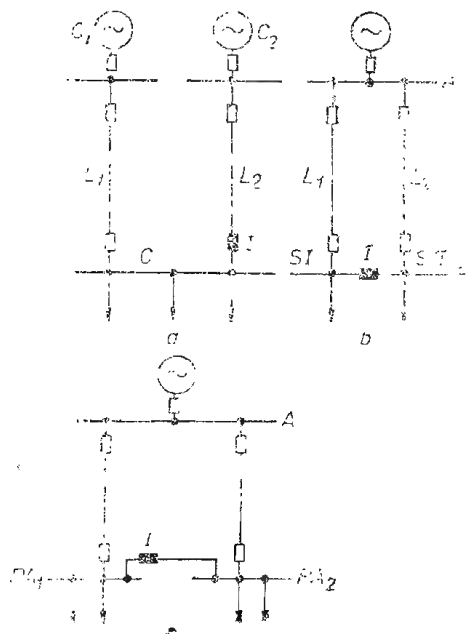


Fig. 3.37. Scheme AAR ale rețelelor de distribuție:

a, b - cu o singură stație; c - cu mai multe puncte de alimentare.

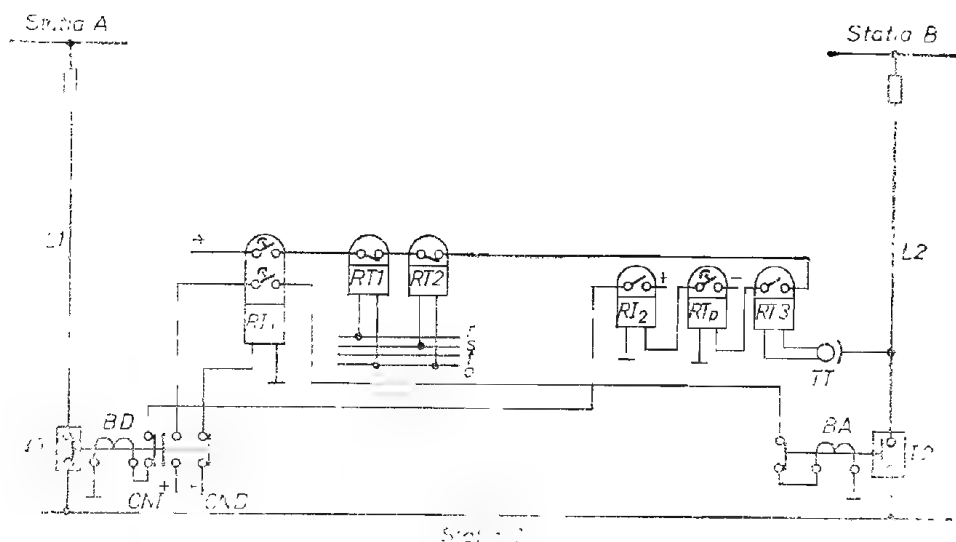


Fig. 3.38. Schema anclanșării automate a unei linii de rezervă.

bază este declanșat, pentru a se evita alimentarea prin linia de rezervă a unui defect apărut pe linia alimentării de bază;

— efectuarea anclanșării de rezervă, în cazul în care aceasta este provocată de scăderea de tensiune, numai după un prealabil control al existenței tensiunii pe linia de rezervă și numai după o anumită temporizare;

— anclanșarea automată a rezervei în cazul în care este provocată de declanșarea întreruptorului de bază se efectuează fără control și fără temporizare, întrucât într-un asemenea caz ele nu sînt necesare.

### 3.9.7. REANCLANȘAREA AUTOMATĂ RAPIDĂ (RAR)

Reanclanșarea automată rapidă este cea mai frecventă automatizare de rețea, utilizîndu-se la toate liniile aeriene cu tensiunea peste 1 000 V.

Un dispozitiv RAR constă dintr-o instalație complexă care realizează reanclanșarea automată a unui întreruptor declanșat, după un timp, care de regulă nu trebuie să depășească intervalul necesar pentru a se asigura prin întreruperea tensiunii stingerea arcului electric produs la locul defecțiunii.

Soluțiile alese pentru schemele de RAR depind în mare măsură de structura și nivelul de tensiune al rețelei, de modul de tratare al punctului neutru, precum și de caracteristicile constructive ale întreruptorului la care trebuie adaptate [2].

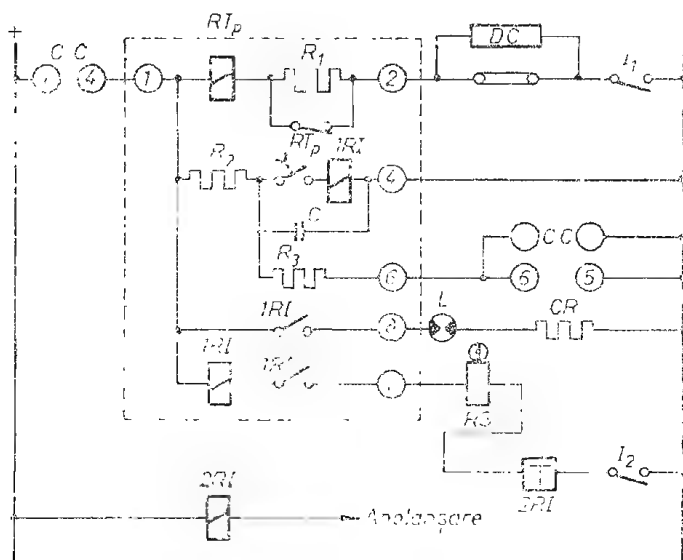
Indiferent de schema folosită și principiul de funcționare există o serie de condiții ce trebuie îndeplinite într-o măsură cît mai mare posibilă, pentru a obține împreună cu sistemul de protecție performanțe cît mai ridicate și anume:

— reanclanșarea să se producă la declanșarea întreruptorului provocată de protecție și să nu se producă la deconectarea manuală;

- să permită blocarea reanclanșării când declanșarea este provocată de anumite protecții;
- să poată fi folosit cu orice tip de întreruptor și cu orice tip de protecție; defectarea lui să nu împiedice funcționarea corectă a protecției;
- să permită alegerea regimului de reanclanșare monofazată sau trifazată, iar regimul ales să fie vizibil pentru personalul de exploatare;
- să permită prelungirea treptei rapide a protecției de distanță [2];
- în cazul extinderii defectului sau apariției unui nou defect în timpul pauzei RAR, trebuie să se producă declanșarea trifazată definitivă;
- să permită realizarea unei singure reanclanșări și să revină automat în starea în care este pregătit de acționare, după o perioadă de timp (perioadă de blocaj  $5 \div 20$  secunde) în care nu se mai produce nici o reanclanșare.

Dispozitivele RAR intră în funcțiune pe baza acționării protecției sau a necorespondenței între poziția întreruptorului și poziția cheii de comandă.

În figura 3.39 este prezentată o schemă RAR trifazată (RART) folosită în rețelele de 110 kV de la noi din țară; schema are următoarele caracteristici:



Schema de vedere din lataș pachetelor		20	04	70	08
		1-2	1-4	5-6	5-8
Fără RAR	←	×	—	×	—
Cu RAR	↓	—	×	—	×

Fig. 3.39. Schemă de reanclanșare automată rapidă trifazată.

— ciclul RAR intră în funcțiune pe baza necorespondenței dintre poziția cheii de comandă CC a întreruptorului și poziția întreruptorului I;

— schema are un singur ciclu, asigurat prin descărcarea unui condensator;

— se poate utiliza pentru reanclanșarea simplă (fără nici un control), pentru reanclanșarea cu controlul lipsei tensiunii și pentru reanclanșarea cu controlul sincronismului.

Detalii, modul de funcționare, precum și reglarea dispozitivului sînt prezentate pe larg în lucrarea [2].

### 3.10. COMPENSAREA CURENȚILOR CAPACITIVI ȘI TRATAREA NEUTRULUI

#### 3.10.1. CONSIDERAȚII GENERALE

În rețelele de transport și distribuție a energiei electrice, 70–80% din defectele ce apar se datoresc punerilor temporare la pămînt monofazate prin deteriorarea izolației unei faze.

Dacă aceste defecte nu se remediază în timp util apare pericolul scurt-circuitelor bifazate și trifazate permanente.

Efectele punerii unei faze la pămînt sînt efectele termice ale arcului la locul punerii la pămînt și străpungerea izolației rețelei în mai multe puncte. În cazul rețelilor de cabluri, datorită curenților capacitivi mari, apar solicitări ale izolației care conduc la îmbătrînirea mai rapidă și străpungerea izolației.

La funcționarea în regim normal simetric este indiferent dacă neutrul transformatoarelor este izolat sau legat la pămînt.

În conformitate cu recomandările CEE, din punct de vedere al tratării neutrului se pot distinge următoarele tipuri de rețele, (fig. 3.40):

- rețele cu neutrul izolat;
- rețele cu neutrul legat la pămînt (rigid, prin rezistență ohmică sau reactanță inductivă);
- rețele cu neutrul tratat în sistem rezonant prin bobină de stingere.

În [44] se precizează cinci clase de tratarea neutrului — tabelul 3.61 delimitate de anumite valori ale raporturilor  $X_0/X_n$  și  $R_0/X_n$ , în care  $X_n$ ,  $X_0$  sînt reactanțele echivalente, reduse în punctul considerat, ale rețelilor de secvență directă și respectiv homopolară, în  $\Omega$ , iar  $R_n$  este rezistența ohmică a rețelei de secvență homopolară, în  $\Omega$ .

În continuare se va exemplifica comportarea diferitelor tipuri de rețele în caz de avarie (punere simplă la pămînt prin deteriorarea izolației unei faze) și se prezintă o analiză comparativă a principalelor elemente care determină alegerea unui sau altui sistem de tratare și anume:

- siguranța în exploatare;
- continuitatea în alimentarea consumatorilor;
- supraîncălzirile care apar în caz de avarii;
- influența asupra liniilor de telecomunicații;
- economicitatea.

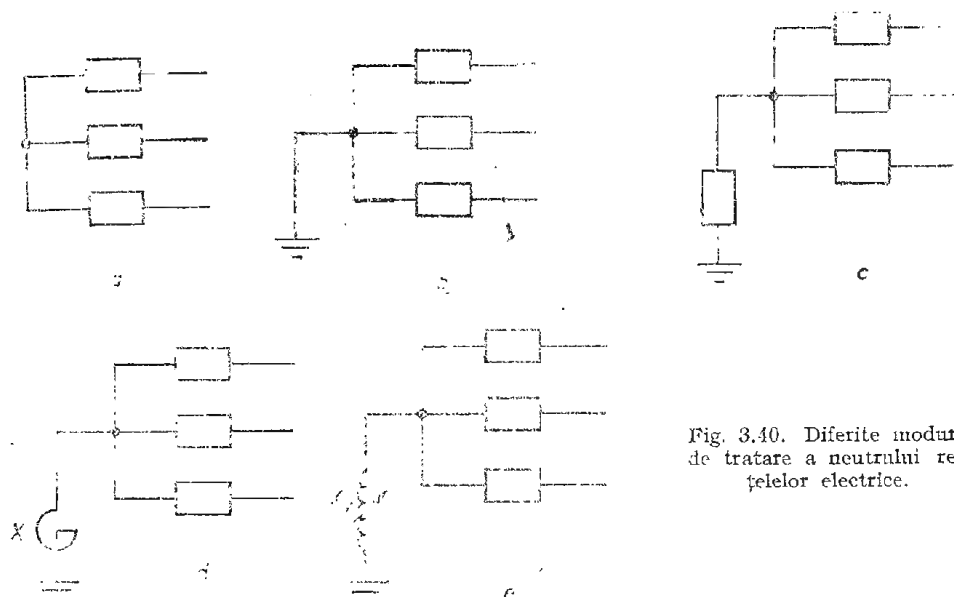


Fig. 3.40. Diferite moduri de tratare a neutrului rețelelor electrice.

Tabelul 3.61

Clase de tratare a neutrului rețelelor trifazate

Nr. crt.	Tipul rețelei	Relații de amplitudine		Coeficient de legare la pământ: $\frac{U_{ef\ max}}{U_1}$
		$\frac{X_h}{X_d}$	$\frac{R_h}{X_d}$	
1	Rețea cu neutrul izolat	0-40	—	condiții de rezonanță
2	Rețea cu neutrul legat rigid la pământ	0-1	1	0,75
3	Rețea cu neutrul efectiv legat la pământ	0-3	0-1	0,8
4	Rețea cu neutrul legat la pământ prin rezistență	3—	1—	1,0
5	Rețea cu neutrul legat la pământ prin bobină de stingere	40—	—	1,1

\*  $U_{ef\ max}$  — tensiunea efectivă maximă care poate apare între o fază sănătoasă și pământ în timpul unei puneri la pământ;

$U_1$  — tensiunea efectivă între faze în punctul considerat, fără considerarea defectului.

### 3.10.2. REGIMURI NESIMETRICE.

#### TENSIUNEA DE DEPLASARE A PUNCTULUI NEUTRU

Într-o rețea trifazată cu parametrii circuitelor concentrați, admitanțele complexe între faze și pământ și curenții prin aceste admitanțe pot fi exprimați prin :

$$\begin{aligned} Y_R &= G_R + j\omega C_R; \\ Y_S &= G_S + j\omega C_S; \\ Y_T &= G_T + j\omega C_T; \end{aligned} \quad (3.164)$$

și

$$\begin{aligned} I_{R0} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{U}_R \cdot \underline{Y}_R; \\ I_{S0} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \underline{U}_S \cdot \underline{Y}_S; \\ I_{T0} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \underline{U}_T \cdot \underline{Y}_T; \end{aligned} \quad (3.165)$$

în care:  $G_R, G_S, G_T$  și  $G_0$  sînt conductanțele între conductoarele fazelor  $R, S, T$  și pămînt, respectiv între conductorul neutru și pămînt;

—  $C_R, C_S, C_T$  și  $C_0$  — capacitățile fazelor, respectiv conductorului neutru față de pămînt;

$$-\frac{1}{\sqrt{3}} \underline{U}_R, \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{U}_S, \frac{1}{\sqrt{3}} \underline{U}_T \text{ — fazorii tensiunilor de fază.}$$

În sistemul trifazat echilibrat și simetric cu neutrul izolat valoarea admitanței  $\underline{Y}_0$  este nulă, iar suma curenților  $I_{R0}, I_{S0}, I_{T0}$  este egală cu zero:

$$\frac{1}{\sqrt{3}} (\underline{U}_R \underline{Y}_R + \underline{U}_S \cdot \underline{Y}_S + \underline{U}_T \underline{Y}_T) = 0. \quad (3.166)$$

În practică, condiția de mai sus este rareori îndeplinită datorită valorilor diferite ale admitanțelor fazelor. În aceste condiții, chiar în cazul unei sarcini echilibrate, simetria sistemului este perturbată: apare o tensiune de deplasare a punctului neutru, care se determină cu relația:

$$\underline{U}_0 = \frac{\underline{U}_R \cdot \underline{Y}_R + \underline{U}_S \cdot \underline{Y}_S + \underline{U}_T \cdot \underline{Y}_T}{\underline{Y}_R + \underline{Y}_S + \underline{Y}_T}, \quad (3.167)$$

care mai poate fi scrisă

$$\underline{U}_0 = U \cdot \frac{Y_R + a^2 \cdot Y_S + aY_T}{Y_R + Y_S + Y_T}, \quad (3.168)$$

în care  $U$  este modulul tensiunii unui sistem simetric direct de tensiune.

### 3.10.3. REȚELE CU NEUTRUL IZOLAT

Sînt rețelele la care punctele neutre (ale transformatoarelor) nu au nici o legătură voită cu pămîntul; acestea sînt rețele de medie tensiune și se mai numesc și rețele cu curenți mici de punere la pămînt.

În figura 3.41 se prezintă schema de calcul a unei rețele cu neutrul izolat: conductorul fiecărei faze formează față de pămînt o capacitate uniform repartizată, care, pentru linii scurte se poate considera concentrată într-un singur punct — linie cu parametrii concentrați ( $C_{R0}, C_{S0}, C_{T0}$ ); valorile acestor capacități depind de poziția relativă a conductoarelor între ele și față de pămînt, de diametrul conductoarelor, de dielectricul înconjurător și de lungimea liniei (rel. 3.44).

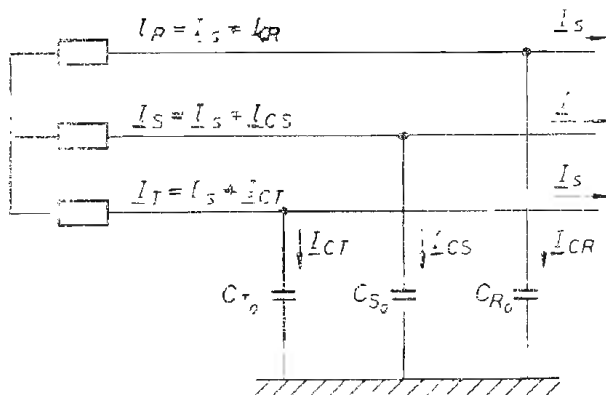


Fig. 3.41. Schema de calcul a rețelei cu neutrul izolat.

În cazul liniilor electrice executate integral în cablu și în cazul liniilor electrice aeriene cu fazele conductoarelor transpuse, capacitățile față de pământ sînt practic egale, iar conductanțele  $G_R$ ,  $G_S$ ,  $G_T$  sînt neglijabile; în cazul unei sarcini simetrice, întregul sistem de tensiuni și de curenți va fi un sistem simetric.

Curenții capacitivi față de pământ formează de asemenea un sistem de curenți trifazați simetrici, a căror sumă este nulă, ceea ce înseamnă că în regim normal de funcționare nu trece nici un fel de curent prin pământ.

În regim normal de funcționare, curenții capacitivi sînt practic identici pe toate fazele și au valoarea:

$$I_c = U_f \cdot \omega \cdot C, \quad (3.169)$$

iar curenții pe fază sînt,

$$I = I_s + I_c, \quad (3.170)$$

în care:

$I_s$  este curentul de sarcină;

$I_c$  — curentul capacitiv față de pământ al fazei respective.

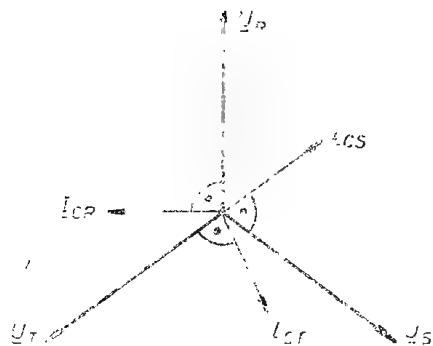


Fig. 3.42. Diagrama fazorială în regim normal de funcționare

Avînd în vedere cele de mai sus, diagrama fazorială în regim normal de funcționare are aspectul din figura 3.42.

În cazul unei puneri monofazate la pământ, se modifică tensiunile față de pământ ale fazelor sănătoase și odată cu aceasta se schimbă și valorile curenților capacitivi din rețea (fig. 3.43).

În cazul punerii nete la pământ (faza  $T$ ), potențialul fazei defecte va atinge potențialul pământului, tensiunile față de pământ ale fazelor sănătoase  $U_{R0}$  și  $U_{S0}$  ajung la valoarea tensiunii de linie, fapt ce determină



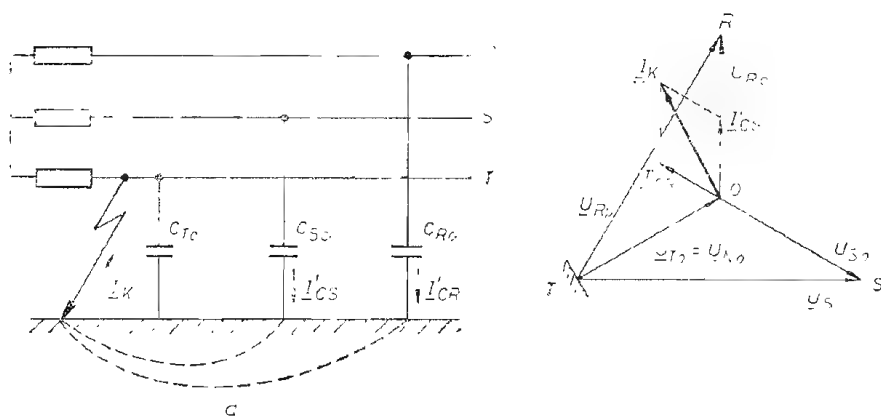


Fig. 3.43. Punerea monofazăată la pământ a fazei T:  
a - schema de calcul; b - diagrama fazorială.

creșterea curenților capacitivi aferenți,  $I_{CS} = \sqrt{3} \cdot I_{CS}$ ; neutrul va primi o tensiune față de pământ egală în modul cu  $U_{T0}$ , dar rotită față de ea cu  $180^\circ$  ( $\underline{U}_{N0} = -\underline{U}_{T0}$ ):

$$\begin{aligned} I_K &= -j \cdot \omega (C_{R0} + C_{S0} + C_{T0}) \cdot U_{N0} \\ &= -j \cdot \omega \cdot 3 \cdot C_0 \cdot U_{N0}. \end{aligned} \quad (3.171)$$

$$(C_{R0} = C_{S0} = C_{T0} = C_0) \quad (3.172)$$

$$U_{PR} = U_{PS} = \sqrt{3} \cdot U_f, \quad (3.173)$$

$$I_{CR} = I_{CS} = \sqrt{3} \cdot I_C.$$

$$I_{CT} = 0.$$

(Curentul capacitiv al fazei T este egal cu zero, deoarece capacitatea respectivă este scurtcircuitată).

Prin locul de defect K, va circula curentul de defect cu caracter capacitiv și care este egal cu

$$I_K = I_{CR} + I_{CS}. \quad (3.174)$$

Valoarea eficace a acestui curent capacitiv rezultat este:

$$I_K = \sqrt{3} \cdot I_{CR} = \sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot I_C = 3 \cdot I_C \quad (3.175)$$

Înlocuind în (3.175) pe (3.169) rezultă:

$$I_K = 3 \cdot \omega \cdot C \cdot U_f, \quad (3.176)$$

sau

$$I_K = \sqrt{3} \cdot \omega C \cdot U. \quad (3.177)$$

Din relația (3.176) rezultă că, în caz de punere monofazăată la pământ într-o rețea cu neutrul izolat, curentul capacitiv de punere monofazăată la pământ este de trei ori mai mare decât curentul capacitiv normal al fazei considerate; mărimea acestui curent depinde numai de capacitatea fazei față de pământ, tensiunea și frecvența rețelei.

Se precizează faptul că, în cazul punerii la pământ a unei faze, dintr-o rețea cu neutrul izolat, funcționarea receptoarelor de energie electrică nu va fi întreruptă, deoarece tensiunile între faze rămân constante ca valoare. Faptul că tensiunea față de pământ a fazelor sănătoase se mărește de  $\sqrt{3}$  ori, nu prezintă un pericol imediat pentru izolație, întrucât izolația față de pământ a fazelor este calculată la tensiunea între faze; totuși pentru a evita funcționarea de durată a rețelelor de cabluri cu neutrul izolat în regim de punere la pământ — fapt care ar putea avea consecințe grave asupra duratei de serviciu, precum și posibilitatea dezvoltării defectului în scurtcircuite polifazate — este necesar să se prevadă instalații speciale de control și avertizarea asupra stării izolației.

Cablurile la care se depistează puneri la pământ trebuie deconectate în cel mai scurt timp posibil în vederea lucrărilor de reparații.

În concluzie, rezultă:

- rețelele trifazate cu neutrul izolat se folosesc la tensiuni medii: 6, 10, 20, 35 kV;
- printre *dezavantajele* acestor rețele se enumeră:
- costuri legate de ridicarea nivelului de izolație al fazelor (care pot fi solicitate la  $\sqrt{3}U$  în majoritatea defectelor de izolație);
- posibilitatea apariției unor supratensiuni prelungite, având valori până la  $3,5 U$  în condiții speciale (autoexcitarea generatoarelor, conținut mărit de armonici în rețea etc.);
- funcționarea neselectivă a protecției în anumite cazuri de puneri duble la pământ sau defecte polifazate;
- influențe importante asupra liniilor de telecomunicații și valori ridicate pentru tensiunile de atingere și de pas în apropierea locului de defect, în special în situațiile în care defectul este evolutiv.

Tabloul 3.62

Valorile curenților capacitivi admiși în rețelele de M.T.

Tensiunea rețelei	$I_{c admis}$ [A]
35 kV	10
10—15 kV	10
6 kV	10
6—20 kV*	5

\* pentru rețelele la care se racordează generatoare.

În cazul în care valoarea curenților capacitivi depășește anumite valori (tab. 3.62) — situație adesea întâlnită în rețelele extinse de cabluri este necesară adoptarea unui sistem de tratarea neutrului.

#### 3.10.4. REȚELE CU NEUTRUL LEGAT DIRECT LA PĂMÎNT

În funcție de condițiile de funcționare ale rețelei (tab. 3.61) în această categorie se disting:

- rețele cu neutrul legat rigid la pământ;

— rețele cu neutrul legat efectiv la pământ;

La aceste rețele, se înregistrează valori ridicate pentru curentul de defect, care la o punere monofazată la pământ reprezintă de fapt curentul de scurtcircuit monofazat; tensiunea pe fazele sănătoase poate ajunge pînă la 70–80% din tensiunea nominală.

Avantajele utilizării unor astfel de rețele sînt:

- eliminarea rapidă a scurtcircuitelor prin arc;
- se reduce solicitarea izolației în regimuri nesimetrice, ceea ce permite utilizarea transformatoarelor cu izolație degresivă;
- funcționarea selectivă și sigură a instalațiilor de protecție;
- exploatare simplă.

Printre dezavantaje se amintesc:

- întreruperea bruscă a alimentării cu energie electrică a consumatorilor la fiecare punere la pământ sesizată de instalațiile de protecție;
- solicitări dinamice și termice importante ale echipamentului și căilor de curent și ieșirea din sincronism a motoarelor în caz de scurtcircuit monofazat;
- tensiuni ridicate de atingere și de pas în zonele de defect, fapt care necesită măsuri speciale de protecția muncii;
- influențe maxime asupra liniilor de telecomunicații.

O reducere oarecare a curenților de scurtcircuit monofazat se obține prin realizarea unei rețele cu neutrul legat efectiv la pământ, la care coeficientul de legare la pământ în acel loc nu depășește 80%, tabelul 3.61 [44].

La aceste rețele are loc limitarea atît a curenților de scurtcircuit monofazat cît și a tensiunilor pe neutrele transformatoarelor.

În vederea evitării supratensiunilor pe neutrele transformatoarelor, izolate în regim normal, la deconectarea întreruptorului pe partea de înaltă tensiune este prevăzut pe nul un separator rapid, care este închis automat înainte de deschiderea întreruptorului.

### 3.10.5. REȚELE CU NEUTRUL TRATAT PRIN REZISTENȚĂ SAU REACTANȚĂ

Introducerea unei rezistențe în neutrul rețelilor conduce la limitarea curenților de scurtcircuit monofazat și la automatizarea rapidă a oscilațiilor libere care pot apare în timpul proceselor tranzitorii care însoțesc scurtcircuitele cu arc; gradul de limitare depinde de:

- stabilirea termică a rezistenței de limitare;
- căderea de tensiune în rezistență în caz de defect;
- coordonarea izolației și a mijloacelor de protecție a supratensiunilor, în funcție de tensiunea obținută pe fazele sănătoase, în caz de defect monofazat.

Deoarece construcția rezistenței de limitare și a prizei de pământ ridică probleme constructive, se recomandă utilizarea acestora numai în anumite cazuri, ca de exemplu la generatoarele electrice și rețelele de distribuție la tensiunea acestora [44].

### 3.10.6. REȚELE CU NEUTRUL TRATAT PRIN BOBINĂ DE STINGERE

Metoda se utilizează la rețele aeriene de medie tensiune cu neutrul izolat la care curenții capacitivi depășesc valorile admise; în rețelele de cabluri este necesară compararea acestei soluții cu alte moduri de tratare și, în funcție de condițiile specifice, să se adopte soluția cu avantaje maxime tehnico-economice.

Utilizarea bobinelor de stingere duce la stingerea rapidă a arcului de punere la pământ, la evitarea supratensiunilor interne și dă posibilitatea funcționării rețelei cu o fază pusă la pământ un timp de 2-6 ore, în funcție de prescripțiile specifice fiecărei țări.

În principiu, o bobină de stingere compensează curenții capacitivi după schema din figura 3.44. În regim normal rețeaua se comportă ca o rețea cu neutrul izolat, curenții capacitivi pe cele trei faze se compensează între ei, iar prin bobină nu circulă nici un curent; în cazul unei puneri monofazate la pământ, neutrul rețelei avînd tensiunea față de pământ egală cu tensiunea de fază, prin bobină va trece un curent inductiv în opoziție de fază cu curentul capacitiv (fig. 3.44, *b*). Prin locul de defect va trece doar curentul rezidual (remanent), care reprezintă diferența între curentul capacitiv și cel inductiv

$$\begin{aligned} I_r &= I_C + I_B; \\ &= jU_{N0} \left( \omega C - \frac{1}{\omega L} \right), \end{aligned} \quad (3.178)$$

în care  $C = C_{R0} + C_{S0} + C_{T0}$  —  $3 C_{R0}$  este capacitatea totală față de pământ a rețelei (capacitatea homopolară — v. subcap. 3.6.3).

Dacă reactanța bobinei este egală cu reactanța capacitivă a rețelei, teoretic, curentul rezidual este nul și rețeaua este total compensată; în acest caz:

$$\omega C = \frac{1}{\omega L}. \quad (3.179)$$

Din relația (3.179) rezultă valoarea inductivității necesară bobinei pentru a avea o compensare totală.

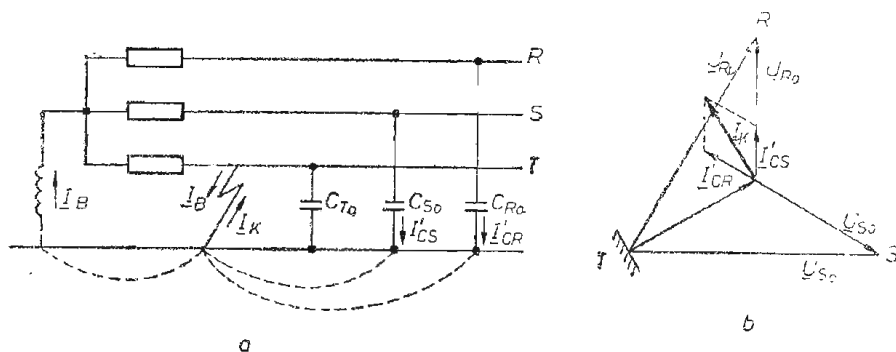


Fig. 3.44. Compensarea curenților capacitivi într-o rețea cu neutrul tratat prin bobină de stingere:

*a* — schema de calcul; *b* — diagrama fazorială.

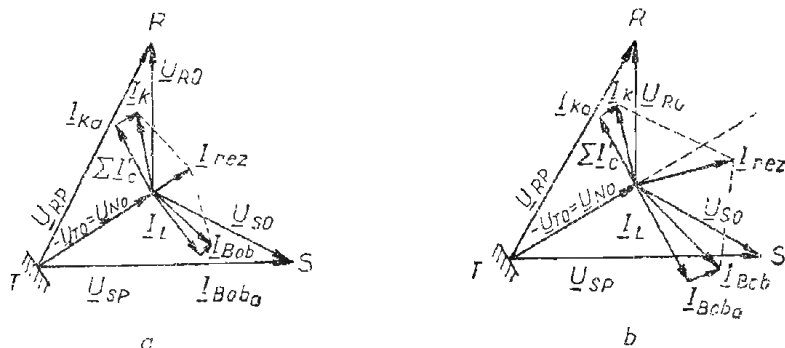


Fig. 3.45. Diagrama fazorială a curenților și tensiunilor în cazul punerii la pământ, pentru rețea necompensată:

a — componentele reactive egale; b — componentele reactive neegale.

Pentru cazurile în care cele două reactanțe diferă, se introduce noțiunile de — grad de compensare,  $K$  (sau de acord):

$$K = \frac{1}{\omega L \cdot \omega C} \cdot 100, [\%] \quad (3.180)$$

și grad de dezacord,  $\delta$ :

$$\delta = 1 - K. \quad (3.181)$$

Operația de reducere a curentului rezidual se numește acordarea bobinei sau compensarea curentului capacitiv.

Practic, rețeaua nu poate fi total compensată, din cauza rezistențelor și conductanțelor circuitelor. Alături de curentul de defect cît și curentul care trece prin bobină vor avea o componentă activă care va genera un curent rezidual atît în cazul în care componentele reactive sînt egale (fig. 3.45, a) cît și în cazul cînd ele diferă (fig. 3.45, b) caz în care curentul rezidual crește.

Se menționează că în practică nu se realizează niciodată acordul perfect al bobinei de stingere, ci se lucrează cu o bobină dezacordată; se procedează la o supracompensare a capacităților rețelei, admitîndu-se un dezacord de 10% față de condițiile de rezonanță, astfel încît să se evite circulația la locul de defect a unui curent capacitiv.

Bobina dezacordată favorizează stingerea arcului de punere la pământ nu numai datorită limitării de curent, dar și datorită limitării tensiunii de revenire la bornele canalului de arc; necesitatea unui dezacord al bobinei rezultă și din pericolul de apariție a unor supratensiuni în regimul cu bobina acordată datorită faptului că niciodată capacitățile fazelor nu sînt perfect egale.

În figura 3.46, se prezintă schema de montare a unei bobine de stingere într-o rețea de M.T., care dispune de un transformator cu neutrul accesibil; în cazul cînd acesta nu există se recurge la crearea unui punct neutrul artificial.

#### 1. Efectele tratării neutrului cu bobine de stingere

Utilizarea bobinelor de stingere la tratarea neutrului prezintă următoarele avantaje:

— funcționarea neîntreruptă a rețelei datorită stingerii arcului intermitent la locul de defect (cca 70% din defectele pasagere nu sînt sesizate decît de aparatele înregistratoare);

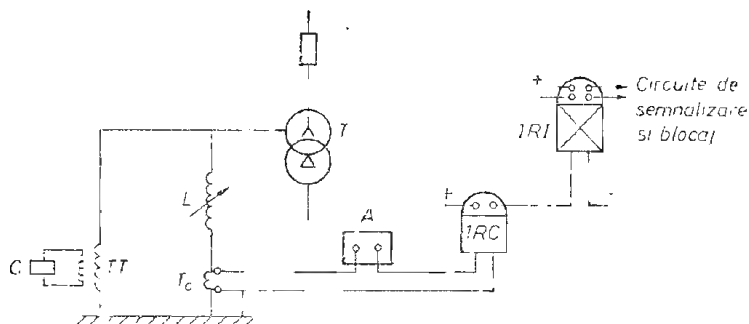


Fig. 3.46. Schema de montaj a bobinei de stingere :

$T$  — transformator trifazat;  $TT$  — transformator de tensiune;  $T_c$  — transformator de curent;  $C$  — contor de punere la pămînt;  $L$  — bobină de stingere;  $A$  — ampermetru înregistrator;  $RC$  — relee de curent;  $RI$  — relee intermediar.

— reducerea intensității curentului de defect și prin aceasta se elimină și dezavantajele celorlalte moduri de tratare (tensiuni de pas și de contact periculoase, prize de pămînt larg dimensionate etc.);

— realizarea unei izolații economice și a unei protecții eficace prin descărcătoare;

— reducerea numărului scurtcircuitelor bi- și trifazate;

— îmbunătățirea regimurilor tranzitorii, în sensul scurtării duratei acestora.

Printre dezavantajele sistemului se citează :

— necesită nivel de izolație mai ridicat în instalații — analog rețelelor cu neutrul izolat;

— exploatarea mai dificilă în cazul bobinelor fără reglaj automat;

— dificultatea identificării locului avariei;

— complicarea instalațiilor de protecție;

— cheltuieli materiale legate de instalarea și exploatarea bobinelor.

În funcție de modul de variație al inductivității, se deosebesc următoarele tipuri de bobine de stingere :

— cu ploturi reglabile (bobine Petersen cu reglaj în trepte);

— cu miezuri reglabile (reglaj continuu);

— cu premagnetizare în curent continuu.

Variantele de execuție în țara noastră a bobinelor de stingere sînt prezentate în subcapitolul 3.5.

## 2. Calculul și alegerea bobinelor de stingere

Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească bobinele de stingere sînt următoarele :

— să compenseze curenții capacitivi de punere la pămînt, ce s-ar produce în cazul unei puneri la pămînt a aceleiași rețele, funcționînd cu neutrul izolat; prima etapă de calcul va fi constituită deci de determinarea mărimii curenților de capacitivi de punere la pămînt;

— să producă o supracompensare de  $15 \div 25\%$ , cu avantajele prezentate anterior.

Numărul de bobine, puterea și locul lor de instalare se determină ținînd cont de secționările probabile ale rețelei, prin manevre sau în urma unor avarii, în porțiuni nelegate galvanic între ele; în același timp bobinele de stingere instalate pentru deservirea unei anumite porțiuni de rețea

trebuie să fie prevăzute cu prizele care asigură compensarea cât mai perfectă în toate regimurile posibile.

Determinarea mărimii curenților capacitivi se realizează prin trei metode :

- măsurarea directă ;
- calculul cu ajutorul unor relații empirice ;
- calculul coeficienților de capacitate din ecuațiile lui Maxwell [5] ; această metodă este utilizată la LEA și conduce la valori destul de apropiate de cele obținute prin măsurarea directă.

În cazul rețelelor de cabluri, în funcție de tipul cablului și secțiunea acestuia se dă curentul capacitiv (de încărcare) al cablului, în A/km..

Curentul total  $I_p$  de punere la pământ este :

$$I_p = \omega C_h \cdot \frac{U}{\sqrt{3}}. \quad (3.182)$$

Admițind dezacordul  $\delta$  al bobinei rezultă curentul nominal al acesteia

$$I_{nB} = \left( 1 + \frac{\delta}{100} \right) I_p. \quad (3.183)$$

Puterea nominală a bobinei este

$$S_{nB} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot I_{nB}. \quad (3.184)$$

### 3. Montarea bobinelor de stingere

În majoritatea cazurilor, bobinele de stingere se instalează în stațiile de transformare, conectându-se la neutrul transformatoarelor prin intermediul separatoarelor. În cazul în care neutrul nu este accesibil se creează un nul artificial printr-un transformator auxiliar, care se conectează prin întreruptor la bare. Puterea transformatorului auxiliar se alege în concordanță cu puterea bobinei

$$S_r = K_r \cdot S_{nB}, \quad (3.185)$$

unde  $K_r = 1,1$  este un coeficient de siguranță.

În paralel cu bobina de stingere se recomandă instalarea unui descărcător cu rezistența variabilă, a cărui tensiune nominală să fie egală cu cea a rețelei ; montarea descărcătoarelor este necesară pentru protecția înășurării transformatorului la al cărui neutru se conectează bobina de stingere.

## 3.11. CRITERII ECONOMICE DE COMPARARE A VARIANTELOR DE ALIMENTARE

Metoda generală de comparare a variantelor de alimentare constă în determinarea eficienței economice a soluțiilor alese, în vederea reducerii cheltuielilor anuale de producție.

În practica curentă există mai multe metode, dintre care se amintesc cele mai uzuale : *metoda comparării variantelor* — metodă foarte laborioasă.

care constă în selectarea variantelor pe baza ordonării acestora după valorile crescătoare ale investițiilor și descrescătoare ale cheltuielilor anuale; *metoda cheltuielilor de anuale de calcul* — utilizată pentru aprecierea variantelor propuse, care pot sau nu să asigure aceleași condiții tehnice în condițiile unor investiții diferite; *metoda cheltuielilor totale minime actualizate* — folosită în mod curent în practica proiectării și care va fi descrisă în continuare.

#### *Metoda cheltuielilor totale minime actualizate*

Principiul metodei constă în evaluarea economică printr-o însumare, pe toată durata de exploatare, a tuturor investițiilor și cheltuielilor de exploatare aferente unei anumite soluții actualizate la primul an al perioadei de studiu. În calculul tehnico-economic se ține seama de: investițiile totale, cheltuielile totale anuale de exploatare, valoarea reziduală a instalațiilor și valoarea daunelor probabile. Cu ajutorul acestor elemente enumerate mai sus se calculează *indicatorul de eficiență economică a investițiilor* (cheltuielile totale actualizate).

Expresia costului total actualizat al soluției  $j$  în anul  $N$  este [41]:

$$A_{jN} = \sum_{i=1}^N I_{ji}(1+a)^{-i} + \sum_{i=1}^N C_{ji}(1+a)^{-i} - \sum_{i=1}^N V_{\tau ji}(1+a)^{-i} + \sum_{i=1}^N D_{ji}(1+a)^{-i}, \quad (3.186)$$

în care:  $I_{ji}$  — este volumul de investiții necesar în anul  $i$  pentru soluția  $j$ ;  
 $C_{ji}$  — cheltuielile anuale de exploatare în anul  $i$  pentru soluția  $j$ ;  
 $V_{\tau ji}$  — valorile reziduale în anul  $i$  ale soluției  $j$ ;  
 $D_{ji}$  — valoarea daunelor probabile în anul  $i$  a soluției  $j$ ;  
 $N$  — numărul de ani ai perioadei de studiu;  
 $a$  — rata de actualizare (10%);  
 $i$  — anul curent.

Valoarea reziduală și cheltuielile de exploatare fixe reprezintă o cotă fixă,  $C$  respectiv  $b$  din valoarea investiției.

În acest caz, relația (3.202) devine:

$$A_{ji} = \sum_{i=1}^l \frac{I_{ji}}{(1+a)^i} + \sum_{i=1}^l \frac{\sum_{k=1}^i b I_{jk}}{(1+a)^i} - \sum_{i=1}^l \frac{p \Delta E_{ji}}{(1+a)^i} - \sum_{i=1}^l \frac{C_i \cdot I_{ji}}{(1+a)^i} + \sum_{i=1}^l \frac{D_{ji}}{(1+a)^i}, \quad (3.187)$$

în care:  $l = 1, 2, \dots, N$ ;

$E_{ji}$  reprezintă pierderile de energie în anul  $i$ ;  
 $p$  — costul pierderilor de energie, în lei/kWh;  
 $b$  — coeficientul de calcul al cheltuielilor anuale de exploatare;  
 $C_i$  — coeficientul de calcul al valorii reziduale.

Relația (3.187) caracterizează soluțiile luate în considerare inițial — soluțiile fundamentale. Se alege cea variantă pentru care indicatorul de eficiență economică a investițiilor  $A_{jN}$  este mai mic.



În relația (3.137) apare termenul  $D_i$  — valoarea daunelor probabile în anul  $i$  a soluției  $j$ , care ia în considerare una din cerințele de bază în alimentarea cu energie electrică — continuitatea în alimentare.

Perioadele de nealimentare înseamnă producție nerealizată și în unele cazuri, funcție de specificul întreprinderii, deteriorări de materie primă și chiar a unora dintre utilajele tehnologice importante. În urma calculului indicatorului de siguranță al schemei de alimentare se determină și duratele medii probabile ale întreprinderilor anuale, precum și numărul lor. Prin aceasta, există posibilitatea de a calcula pierderile, respectiv daunele, care apar în cazul întreruperilor industriale în perioadele de întrerupere în alimentarea cu energie electrică din sistemul energetic într-un an. În funcție de tipul întreprinderilor industriale, problema daunelor are multe aspecte specifice, dintre care cele principale se referă la daune care depind numai de numărul întreruperilor (cele legate de distrugeri de utilaje și de deteriorarea materiei prime) și daune care depind de duratele întreruperilor și care privesc pierderile de producție.

În calculul daunelor, partea cea mai mare a volumului de informații necesare trebuie să se obțină din partea proiectantului tehnolog; astfel o primă informație se referă la producția fizică totală a întreprinderii, exprimată în unități fizice (bucăți/an, tone/an etc.), corespunzătoare unei anumite durate de timp, în general un an; cota parte din producția totală denumită nerecuperabilă, care nefiind realizată în perioada cînd lipsește energia electrică, nu mai poate fi recuperată după ce se reia alimentarea; cealaltă parte o constituie producție denumită recuperabilă, care nefiind realizată pe perioada întreruperii, poate fi recuperată după reluarea alimentării; costul producției totale, precum și separarea acestuia pentru cele două părți-nerecuperabilă și recuperabilă.

O importanță deosebită pentru stabilirea daunelor o are faptul dacă întreprinderea are sau nu sursă proprie, precum și puterea disponibilă a acesteia, fiind seama de revizii, reparații sau de reducerea puterii debitate datorită unor restricții impuse de fluxul tehnologic al întreprinderii. De asemenea, este necesar să se cunoască, fie pierderea totală de producție, fie reducerea producției datorită blocării instalațiilor, precum și costul acestor pierderi totale sau parțiale; cheltuielile suplimentare pe care le suportă întreprinderea (salarii, consum sporit de energie electrică etc.) pentru recuperarea ulterioară a producției sporite etc.

În lucrarea [41] sînt analizate pe larg daunele produse ca urmare a întreruperii în alimentarea cu energie electrică, precum și modul de calcul efectiv al acestora.

#### 4.1. GENERALITĂȚI

Instalațiile electrice de joasă tensiune realizează distribuția energiei electrice la receptoare îndeplinind astfel scopul final al întregului proces de producere, transport și distribuție a energiei electrice. În compunerea lor se regăsesc aceleași părți, evidențiate pentru instalațiile electrice la consumatori (v. subcap. 1.2.).

Receptoarele electrice alimentate în joasă tensiune sînt de o mare diversitate, ocupînd în general o pondere însemnată în valoarea puterii instalate la consumator. Avînd în vedere rolul instalațiilor de joasă tensiune, rezultă că proiectarea acestora este strîns legată de caracteristicile tehnico-funcționale ale receptoarelor electrice (v. subcap. 1.4). Cerințele impuse de funcționarea corespunzătoare a receptoarelor, din punct de vedere tehnic și economic, trebuie satisfăcute între anumite limite admisibile, de către instalația de distribuție în joasă tensiune.

Așa cum s-a subliniat (v. subcap. 1.1), un mare număr de receptoare electrice se află, în mod obișnuit, montate în cadrul utilajelor tehnologice, acestea cuprinzînd unul sau mai multe receptoare. Prin fabricație, aceste utilaje au o instalație electrică proprie, care cuprinde atît o parte de *forță* — circuitele primare, cu rol de distribuție și de protecție a receptoarelor, cît și o parte de *comandă, automatizare, măsură și control* — circuitele secundare. În figura 4.1 sînt prezentate schemele de alimentare aferente circuitelor primare a două tipuri de utilaje. Instalația electrică a unui utilaj conține, așa cum se vede și în figura 4.1, un tablou de distribuție, numit pe scurt tablou de utilaj *TU* (v. subcap. 1.2), care alimentează receptoarele cu energie electrică de la un punct de distribuție (bornele de intrare), permite conectarea-deconectarea și realizează protecția receptoarelor și a conductelor electrice.

Rețelele electrice de joasă tensiune sînt constituite din totalitatea coloanelor și circuitelor de utilaj sau receptor. Prin *coloană* se denumește ansamblul elementelor conductoare de curent, care alimentează un tablou de distribuție, iar prin *circuit* ansamblul elementelor conductoare de curent, care alimentează unul (circuit de receptor) sau mai multe receptoare (circuit de utilaj).

În cadrul rețelor electrice de joasă tensiune se pot face următoarele grupări:

- rețele de *alimentare*, care leagă barele de joasă tensiune ale posturilor de transformare la punctele de distribuție (tablouri), cuprinzînd totalitatea coloanelor electrice;

- rețele de *distribuție*, care fac legătura între punctele de distribuție și receptoare sau utilaje, incluzînd totalitatea circuitelor de receptor, respectiv utilaj.

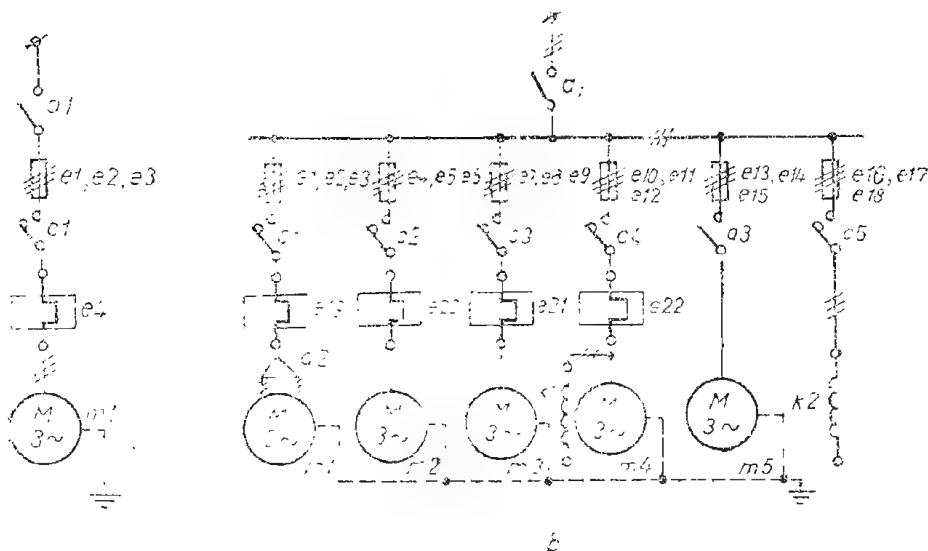


Fig. 4.1. Scheme de alimentare pentru utilaje:

$a$  — cu un singur receptor (peping 420 b);  $b$  — cu mai multe receptoare (mașină de sablaj).

Punctele de alimentare sînt reprezentate, în cazul instalațiilor electrice de joasă tensiune, de tablourile de distribuție care pot fi [32]:

- tablouri *generale*, primind energia electrică de la postul de transformare sau direct din rețeaua furnizorului;
- tablouri *principale*, alimentate dintr-un tablou general și care distribuie energia electrică la tablouri secundare;
- tablouri *secundare*, de la care energia electrică se distribuie la receptoare și utilaje.

Instalațiilor electrice de joasă tensiune le este specific și un anumit echipament electric, prezentat în subcapitolul 4.5. De obicei echipamentul electric se montează concentrat, în vecinătatea punctelor de alimentare (în TD) putînd fi însă amplasat și pe traseul unor coloane (cazul magistrelor din bare capsuiate) sau al unor circuite (aparatele de conectare).

## 4.2. SCHEMELE REȚELOR DE DISTRIBUȚIE

Racordarea receptoarelor și utilajelor la tablourile de distribuție se poate face:

- radial;
- cu linie principală.

În figura 4.2, este prezentată o rețea de distribuție radială cu șase circuite, două de receptor pentru motoarele  $m1$  și  $m2$  și patru de utilaj — pentru utilajele  $u1, \dots, u4$ . Configurația radială este cea mai frecvent utilizată pentru rețelele de distribuție de joasă tensiune.

Pentru alimentarea receptoarelor și utilajelor electrice de mică importanță, situate departe de punctele de distribuție însă amplasate apropiat

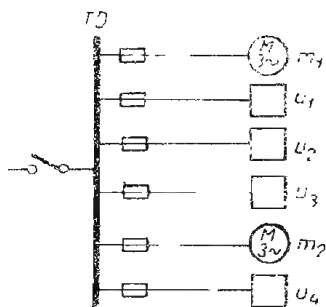


Fig. 4.2. Schema de alimentare radială aferentă tabloului TD;  
 $m_1, m_2$  — receptoare;  $u_1, \dots, u_4$  — utilaje

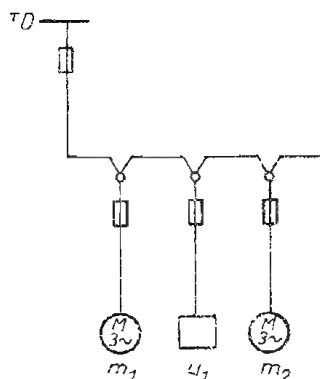


Fig. 4.3. Schema unui tablou cu linie principală (conexiune în lanț).

între ele, se poate folosi distribuția cu linie principală, numită în acest caz și conexiune în lanț, prezentată în figura 4.3. Evident și în astfel de situații se poate recurge la amplasarea unui tablou de distribuție în vecinătatea grupului de receptoare și utilaje, la care acestea să fie racordate radial.

Extinderea distribuției cu linie principală, adică racordarea de noi receptoare sau utilaje se poate face cu ușurință dacă secțiunea conductoarelor din componența liniei asigură și curenții ceruți de noile receptoare.

Conexiunea cu linie principală este mai frecvent utilizată la realizarea distribuției în interiorul utilajelor, deci în schemele de distribuție ale acestora.

Gruparea receptoarelor și utilajelor pe tablouri de distribuție secundare trebuie să se facă în baza următoarelor considerații:

— existența unor corelații funcționale în cadrul procesului tehnologic deservit;

— amplasarea învecinată în cadrul secției;

— utilizarea eficientă a tipurilor de cutii capsulate pentru tablouri de distribuție și a altor echipamente electrice;

— tariful identică pentru consumul de energie electrică;

— lipsa perturbațiilor reciproce supărătoare între diferite tipuri de receptoare;

— eventualitatea unor limitări de putere de 5 ... 10% la cererea furnizorului, în caz de deficit de putere în sistemul energetic;

— receptoarele de categorii diferite se grupează pe diferite tablouri.

În condițiile de mai sus, se recomandă [32] ca receptoarele de iluminat să fie racordate la același tablouri de distribuție cu receptoarele de forță.

Nu se vor grupa pe același tablou receptoare de diferite tipuri dacă:

— separarea conduce la soluții mai economice;

— se aplică tarifyare diferențiată pentru consumul de energie electrică;

— funcționarea unora produce perturbații supărătoare pentru celelalte (de exemplu pornirea motoarelor electrice, care determină variații ale fluxului luminos emis de sursele de lumină);

— utilajele sau agregatele tehnologice se pot înlocui reciproc din punct de vedere productiv sau acestea deservesc linii tehnologice paralele, realizând același produs;

— frecvențele de lucru sînt diferite;

— tensiunile fază-pământ sînt diferite.

Ultimele două condiții nu sînt obligatorii [32] dacă un receptor sau utilaj necesită pentru funcționarea lui circuite cu curenți de frecvențe sau tensiuni diferite. În asemenea situații, în cadrul tabloului de distribuție respectiv, echipamentele care aparțin aceluiași fel de curent sau nivel de tensiune se montează separat și se marchează distinct.

Numărul de receptoare și utilaje care pot fi racordate la același tablou de distribuție este limitat de valoarea maximă a curentului care poate fi suportată de elementele conductoare ale echipamentului electric. Acest număr se corelează cu puterile instalate și coeficienții de cerere ai receptorilor.

În concluzie, problema grupării utilajelor și receptorilor dintr-o secție, pe tablouri de distribuție, poate fi soluționată dacă se cunosc amplasamentele utilajelor și receptorilor (schema tehnologică), caracteristicile tehnico-funcționale ale acestora și procesul tehnologic din secție.

### 4.3. SCHEMELE REȚELELOR DE ALIMENTARE

Conceperea schemelor rețelilor de alimentare, care fac legătura între posturile de transformare și tablourile de distribuție la receptoare și utilaje, reprezintă unul din aspectele importante ale proiectării instalației de joasă tensiune deoarece, așa cum s-a arătat mai sus, rețelele de distribuție nu ridică dificultăți deosebite.

Rețelele de alimentare de joasă tensiune pot fi organizate conform schemelor (de alimentare):

— radiale;

— cu linii principale;

— buclate;

— combinate.

Prezentarea particularităților acestor scheme fundamentale, utilizate la organizarea rețelilor de joasă tensiune, se face în continuare fără a se mai repeta avantajele și dezavantajele expuse deja în cadrul subcapitolului 3.3.

a. *Schemele radiale* (arborescente) sînt utilizate pentru alimentarea unor tablouri de distribuție suficient de încărcate, montate relativ apropiat unele de altele, cît și în cazul tablourilor de distribuție cu puteri cerute mari, distanțate, față de care tabloul general ocupă o poziție aproximativ centrală.

Aceste scheme asigură totodată limitarea valorilor curenților de scurt-circuit [45].

Rețelele de alimentare radiale, se pot realiza conform schemelor prezentate în figura 4.4, după cum urmează:

— cu o singură treaptă, cînd tablourile secundare de distribuție ( $TS1$ , ...,  $TS4$ ) sînt alimentate direct de la tabloul general  $TG$  (fig. 4.4, a);

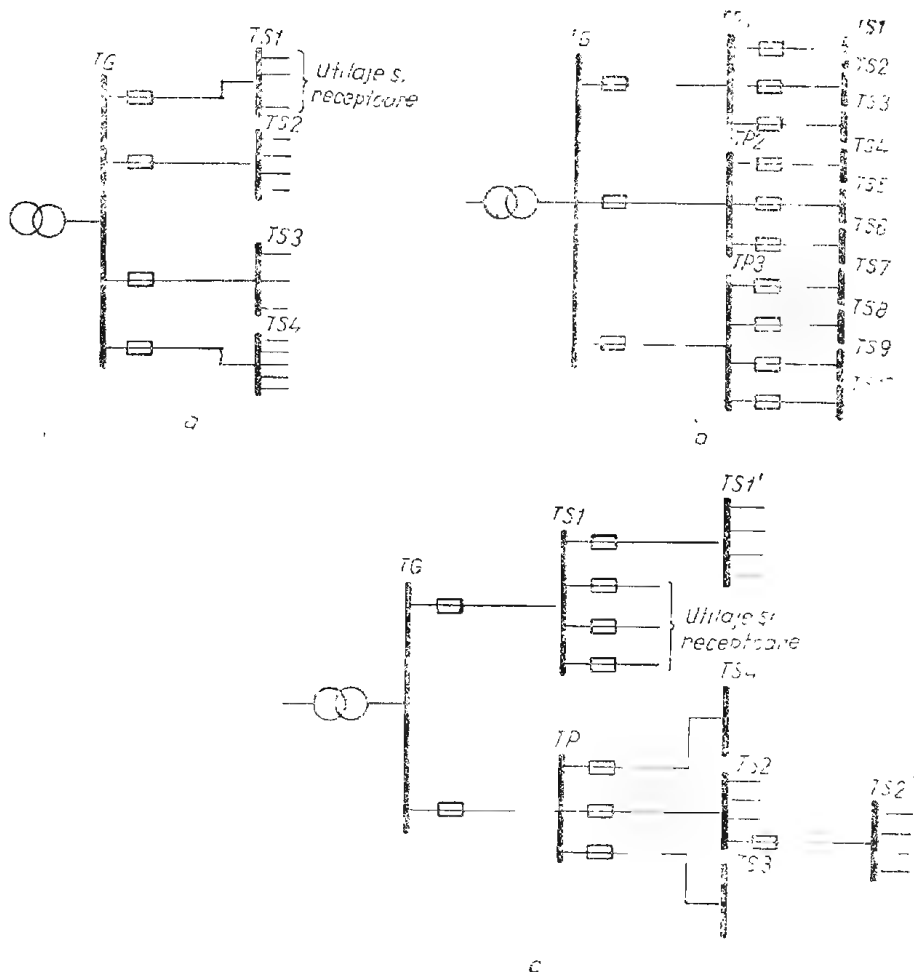


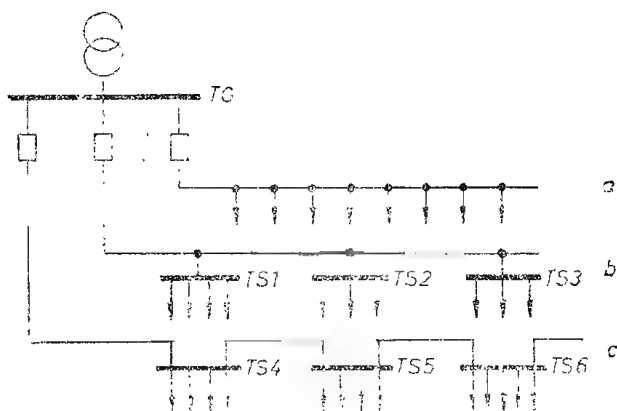
Fig. 4.4. Scheme ale rețelilor de alimentare radiale:  
a — cu o singură treaptă; b — cu două trepte; c — în cascadă.

— cu mai multe trepte, caz în care distribuția se realizează prin două sau mai multe puncte de distribuție intermediare. Pentru distribuția radială în două trepte, prezentată în figura 4.4, b, prima treaptă o constituie alimentarea tablourilor principale  $TP1, \dots, TP3$ , iar a doua — alimentarea tablourilor secundare  $TS1, \dots, TS10$  de la cele principale. Coloanele se diferențiază în mod corespunzător în coloane principale, respectiv secundare. În general, arareori se utilizează scheme radiale cu mai mult de două trepte;

— în cascadă (fig. 4.4, c), situație în care la anumite tablouri de distribuție ( $TS1, TS2$ ) se racordează alături de receptoare sau utilaje și alte tablouri de distribuție ( $TS1'$ , respectiv  $TS2'$ ), ca în cazul schemelor radiale cu mai multe trepte. Tablourile secundare se consideră de diferite nivele, în sensul distribuției energiei electrice spre receptoare, putându-se nota de exemplu  $TS3-1, TS3-2$  ș.a.m.d., iar cele care alimentează numai

Fig. 4.5. Rețele de alimentare cu linii principale:

*a* -- nesectionată, cu sarcini distribuite; *b* -- nesectionată, cu sarcini concentrate; *c* -- sectionată.



receptoare și utilaje, conform principului ilustrat în figura 4.4, *c*. De remarcat că schema în cascadă rezultă din suprapunerea unor scheme radiale cu numere diferite de trepte, combinația fiind datorată unor linii de distribuție (coloane) comune. Se recomandă evitarea formării a mai mult de două trepte, din considerente de siguranță în exploatare.

De subliniat, în continuarea caracteristicilor menționate în subcapitolul 3.3, că rețelele de alimentare radiale se disting prin siguranța în funcționare din punct de vedere a selectivității. Ca un dezavantaj poate fi reținut și faptul că tablourile generale sînt, în cazul schemelor radiale, mai dezvoltate.

*b*. Schemele cu linii principale se folosesc pentru alimentarea unor tablouri de distribuție amplasate pe o aceeași direcție față de tabloul general, la distanțe relativ mici, iar mărimea încărcării acestor tablouri nu justifică folosirea schemei radiale.

Rețelele de alimentare cu linii principale, prezentate în figura 4.5, pot fi:

— cu linii principale nesectionate, cu sarcini distribuite (fig. 4.5, *a*) sau concentrate (fig. 4.5, *b*);

— cu linii principale sectionate (fig. 4.5, *c*).

În cazul utilizării barelor capsulate ca element constructiv pentru liniile principale, rețeaua de alimentare poate avea una din configurațiile prezentate în figura 4.6, denumite scheme bloc transformator — linie principală din bare capsulate.

Linia principală se mai numește coloană magistrală sau simplu — magistrală, iar liniile care se ramifică din acestea — derivații.

Schemele cu linii principale din bare capsulate sînt frecvent aplicate în alimentarea cu energie electrică a unor secții cu sarcini electrice mari,

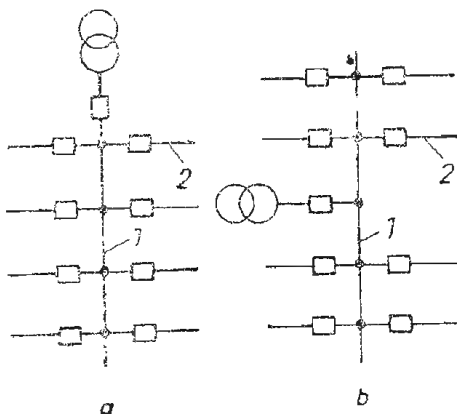


Fig. 4.6. Scheme bloc transformator — linie principală din bare capsulate:

*a* — plecarea liniei principale într-o singură direcție; *b* — plecarea liniei principale în două direcții; 1 — linia principală; 2 — derivații.

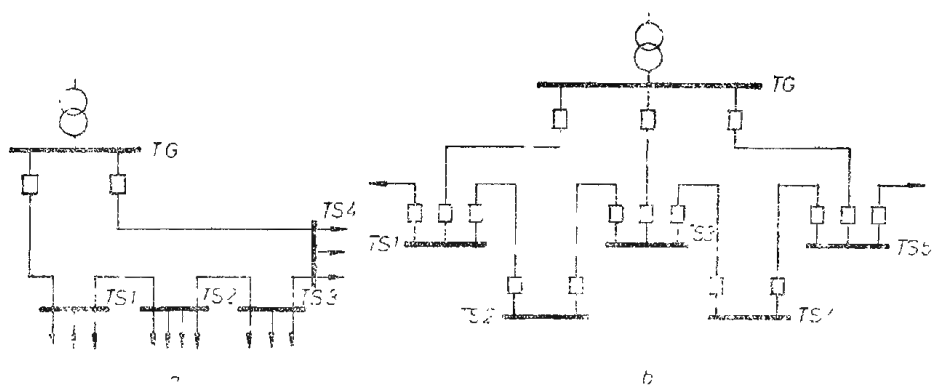


Fig. 4.7. Rețele de alimentare buclate:

a - în lael; b - tip plasă.

din uzine metalurgice, constructoare de mașini, de prelucrarea minereurilor etc.

c. *Schemele buclate* se obțin prin reîntoarcerea capătului liniei principale secționată la punctul de alimentare de plecare. Aceste rețele asigură în punctele de distribuție pe care le alimentează o rezervă în linii, putând fi utilizate în cazul unor grupe de recepțiere de categoria a II-a.

În figura 4.7 sunt prezentate două tipuri posibile de rețele de alimentare cu scheme buclate;

— în inel (simplu buclată), obținută prin buclarea unei linii principale secționată (fig. 4.7, a);

— tip plasă (complex buclată, fig. 4.7, b), care se compune din mai multe rețele simplu buclate. În aceste scheme, unele coloane sînt laturi

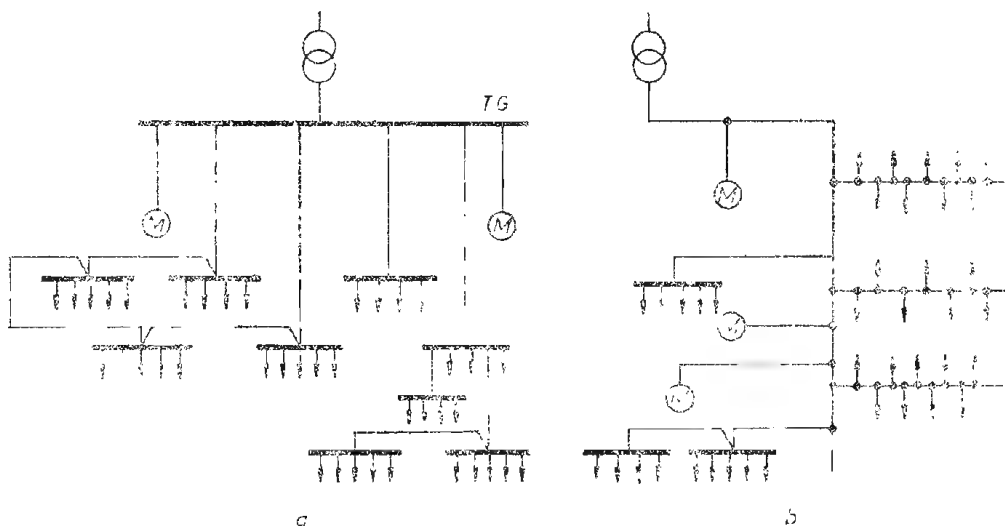


Fig. 4.8. Rețele de alimentare în scheme combinate:

a - cu linii radiale, principale și buclate, b - cu linii principale pentru sarcini concentrate sau distribuite.



comune pentru două sau mai multe ochiuri, astfel încât rezerva în linii este de minimum 100%.

Siguranța în exploatare a rețelelor buclate de joasă tensiune depinde de modul de amplasare și dimensionare a elementelor de protecție.

d. *Schemele combinate*, cuprinzând linii radiale, principale și buclate se utilizează în mod curent, dată fiind diversitatea condițiilor practice, în care trebuie realizată distribuția în joasă tensiune. În figura 4.8 sunt prezentate două exemplificări de rețele de alimentare combinate.

Dacă se folosesc puncte de distribuție intermediare, atunci alimentarea tablourilor principale se poate realiza după o schemă, iar a celor secundare după altă schemă; în acest caz se obțin scheme combinate între trepte de distribuție.

Variantele tehnice ale schemelor rețelelor de joasă tensiune se analizează din punct de vedere al siguranței în funcționare, se compară între ele pe baza calculelor economice (v. subcap. 3.11) și pe această bază se alege soluția finală.

#### 4.4. ASIGURAREA REZERVEI ÎN ALIMENTAREA RECEPTOARELOR

Exigențele privind calitatea energiei furnizate consumatorului, exprimate prin condițiile de calitate (v. subcap. 1.3) referitoare la continuitatea alimentării și la puterea necesară (clasa), determină (v. tab. 1.2) nivelul de siguranță în alimentare, care trebuie asigurat consumatorului respectiv.

Concret, nivelul de siguranță se realizează prin (v. par. 1.3, c):

- rezerva în căi de alimentare, care în joasă tensiune este în esență o rezervă în linii și care se impune a fi prevăzută pentru receptoare din categoriile 0, I și II (nivelurile de siguranță 1 și 2);

- rezerva în surse independente, obligatorie în cazul receptoarelor din categoriile 0 și I (nivel de siguranță 1) și care presupune în mod implicit asigurarea și a rezervei în căi de alimentare.

Receptoarele unui consumator pot fi alimentate din următoarele categorii de surse:

- sursa de bază, care asigură alimentarea cu energie electrică a receptoarelor în regim normal de funcționare;

- sursa de rezervă, de la care se realizează alimentarea receptoarelor în cazul indisponibilității sursei de bază, cu scopul de continuare a lucrului;

- sursa de intervenție, care este o sursă de rezervă independentă de la care, la indisponibilitatea surselor de bază și de rezervă, se asigură alimentarea cu energie electrică a unui grup restrâns de receptoare, în scopul evitării unor fenomene periculoase la consumator [32].

Categoriile de receptoare determină diferențieri atât în ceea ce privește gradul de siguranță al căilor de alimentare, cât și în ceea ce privește tipul sursei de alimentare independente.

Astfel, în cazul receptoarelor din categoria 0, pe lângă sursa de bază reprezentată de sistemul electroenergetic, trebuie să se prevadă instalarea unei surse de intervenție, care să asigure continuitatea în alimentare a receptoarelor respective.

Natura sursei și forma de energie utilizată se stabilesc în funcție de puterea cerută a receptoarelor din categoria 0, de durată critică de alimentare a acestora și de alte caracteristici ale procesului tehnologic. Conform [45], se pot lua în considerare următoarele tipuri de surse de intervenție:

- baterii de acumulatori;
- generatoare sincrone mici, antrenate de motoare cu ardere internă prin intermediul unor sisteme inerțiale;
- grupuri Diesel;
- centrale electrice de platformă;
- acționarea cu turbine de abur sau gaze ș.a.

Numărul de căi de alimentare din sursa de bază a receptoarelor de categoria 0 se stabilește în funcție de condiții locale ca: structura rețelei, gruparea receptoarelor de diverse categorii și amplasarea surselor.

Punctele de racordare ale căilor de alimentare independente pot fi considerate ca surse de rezervă, dacă sunt îndeplinite condițiile referitoare la punctele de delimitare (v. subcap. 1.3).

Pentru receptoare de categoria I, nivelul de siguranță se realizează prin prevederea a două căi de alimentare racordate în puncte distincte din sistemul intern al consumatorului. Ca puncte distincte pot servi: bare distincte ale stației de racord adânc, ale postului de transformare sau ale stației aferente centralei electrice proprii.

Pentru receptoare de categoria a II-a se adoptă, de regulă, o singură cale de alimentare, a doua cale și modul de racordare al acesteia urmînd a fi justificate tehnico-economic în situații speciale.

Pentru receptoare de categoria a III-a se interzice prevederea a mai mult de o cale de alimentare.

Avînd în vedere că, în general, numărul și puterea receptoarelor foarte exigente sînt mici în raport cu numărul și puterea totală, este recomandabil ca alimentarea acestora să se facă de la tablouri de distribuție separate, independent de alte receptoare mai puțin importante.

Alinașarea rezervei se poate realiza fie automat (AAR), pentru nivelul de rezervare 1, fie manual — pentru nivelul de siguranță 2, în fiecare caz urmînd a fi prevăzută aparatura de comutare corespunzătoare.

Pentru creșterea eficacității schemelor cu AAR, este necesară luarea de către consumatori a unor măsuri de desensibilizare a receptoarelor la golurile de tensiune care apar la funcționarea dispozitivelor respective [45].

Cînd furnizorul nu poate satisface consumul necesar, ceea ce ar determina scăderea tensiunii sau a frecvenței, se trece la sacrificarea alimentării receptoarelor mai puțin importante ale consumatorului. Aceasta se poate face fie manual, fie automat, operațiunea fiind numită în ultimul caz descărcarea automată a sarcinii (DAS).

Furnizorul de energie electrică dă indicații asupra modului cum trebuie organizată descărcarea automată a sarcinii pe traușe de frecvență, în ordinea inversă a importanței pentru procesul tehnologic.

Necesitatea asigurării continuității în alimentare pentru receptoarele existente, pe de o parte, cît și eventualitatea sacrificării alimentării pentru receptoarele mai puțin importante, pe de altă parte, pledează în aceeași măsură pentru alimentarea grupurilor respective de receptoare de la tablouri de distribuție distincte. În acest caz, și problema asigurării rezervei se simplifică.

a) Rezerva în căi de alimentare de joasă tensiune trebuie rezolvată pentru cazurile distribuțiilor de bază radiale sau cu linii principale. Prin distribuție de bază se înțelege aceea care asigură alimentarea receptoarelor în regim normal de funcționare. Schema de alimentare a liniilor de rezervă poate fi de același tip cu a liniilor care realizează alimentarea de bază sau de tip diferit.

În figura 4.9 se prezintă principalele situații de asigurare a liniilor de rezervă:

- linii radiale duble (fig. 4.9, a), când atât distribuția de bază, cât și cea de rezervă se realizează radial;
- linii principale duble (fig. 4.9, b), când distribuția de bază cu linii principale este dublată printr-una de rezervă, tot cu linii principale;
- linii radiale cu rezervă în linie principală (fig. 4.9, c) sau invers, linie principală cu rezervă în linii radiale;
- linii principale cu buclare printr-o linie principală de rezervă comună (fig. 4.9, d).

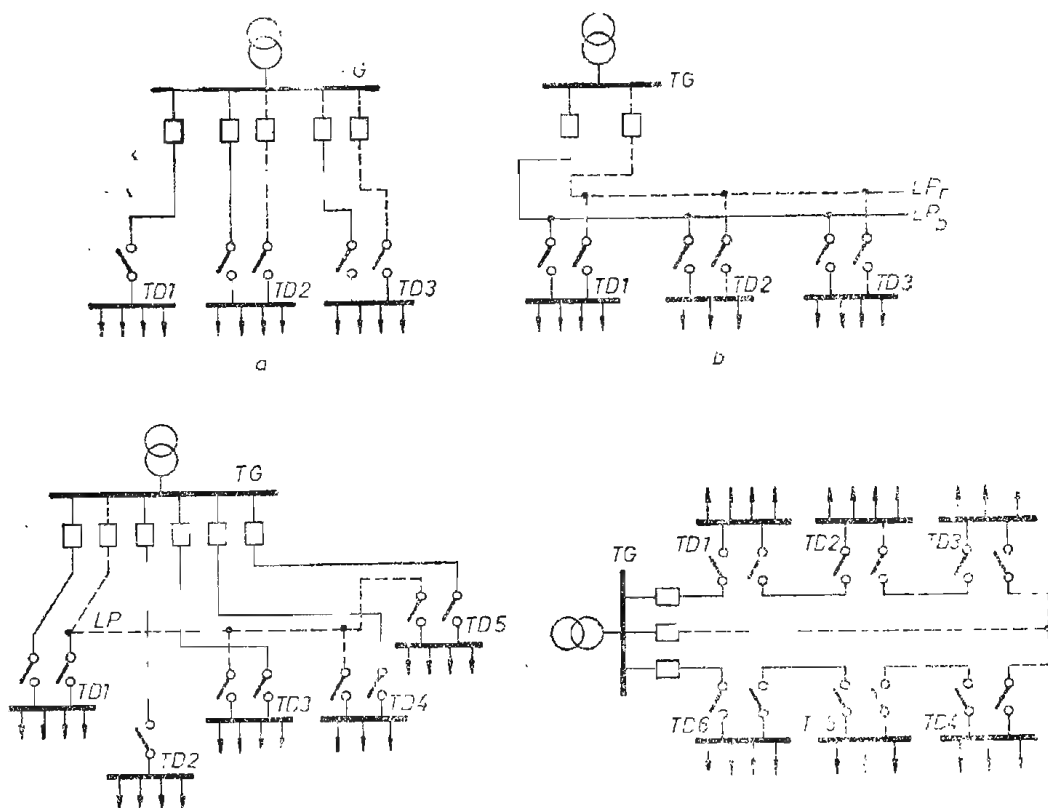


Fig. 4.9. Scheme de alimentare cu linii de rezervă (reprezentate întrerupt):

a — linii radiale duble; b — linii principale duble; c — linii radiale cu rezervă în linie principală; d — linii principale cu buclare printr-o linie principală de rezervă comună.

b) Rezerva în surse trebuie prevăzută pentru cazul indisponibilității sursei de bază, la consumatorii cărora le corespunde nivelul 7 de siguranță. Acest nivel impune ca, pe lângă rezerva în căi de alimentare independente, să se asigure și o rezervă în surse, deoarece căile de alimentare trebuie să fie racordate în puncte distincte de delimitare.

În instalațiile de joasă tensiune ale consumatorilor industriali, nu există puncte de delimitare în accepțiunea considerată în subcapitolul 1.3. Cu rol similar pot fi considerate, în contextul asigurării rezervei în surse, punctele de distribuție care sînt noduri din amonte de consumatorii sau subconsumatorii de JT.

Tablourile de distribuție care alimentează receptoare de categoria O sau I trebuie racordate în puncte distincte de distribuție, astfel încît în caz de dispariție a tensiunii într-unul din puncte (sursa de bază), să poată fi asigurată continuitatea alimentării din celălalt punct (sursa de rezervă). Ca puncte de distribuție distincte pot fi considerate:

- barele de joasă tensiune din două posturi de transformare distincte;
- secțiunile diferite de bare ale unui singur post de transformare, prevăzut cu două unități (transformatoare de putere), dacă acestea sînt alimentate prin căi independente;
- sursele proprii de rezervă, adică grupuri electrogene sau centrale electrice la consumator.

În figura 4.10 se prezintă modalitățile de realizare a rezervei în surse pentru cazul schemelor de distribuție radiale. În ipoteza că un tablou de distribuție *TD1* (fig. 4.10, *a*) necesită o sursă de rezervă și că la o distanță relativ mică se află un tablou de distribuție *TD2* alimentat de la un alt post de transformare *PT2*, se asigură alimentarea de rezervă prin legătura dintre cele două tablouri de distribuție; în acest caz, alimentarea de la sursa de rezervă este realizată radial, în două trepte. Alimentarea de rezervă radială, într-o singură treaptă, este reprezentată în figura 4.10, *b*.

De la un post de transformare cu două unități și bare secționate, prevăzute cu întreruptor de cuplă, alimentarea de rezervă se realizează de pe secțiuni diferite de bare după schema radială într-o singură treaptă (direct de pe o secțiune de bare, fig. 4.10, *c*) sau după schema radială în două trepte (fig. 4.10, *d*).

Asigurarea surselor de rezervă pentru tablouri de distribuție alimentate prin linii principale este ilustrată în figura 4.11. Cazul cel mai simplu este cel al liniei principale alimentate la ambele capete (fig. 4.11, *a*); aceasta are dezavantajul că nu asigură și o rezervă în căi de alimentare. Dacă se utilizează două linii principale, fiecare plecînd din puncte de distribuție distincte (fig. 4.11, *b*), este asigurată atît rezerva în căi de alimentare, cît și în surse.

În cazul cînd într-o secție sînt mai multe posturi de transformare și rețeaua este executată după schema bloc transformator - linie principală (fig. 4.11, *c*), între barele liniilor principale, în locurile unde acestea se apropie, se pot executa punți de legătură (cuple) normal deschise. Acestea

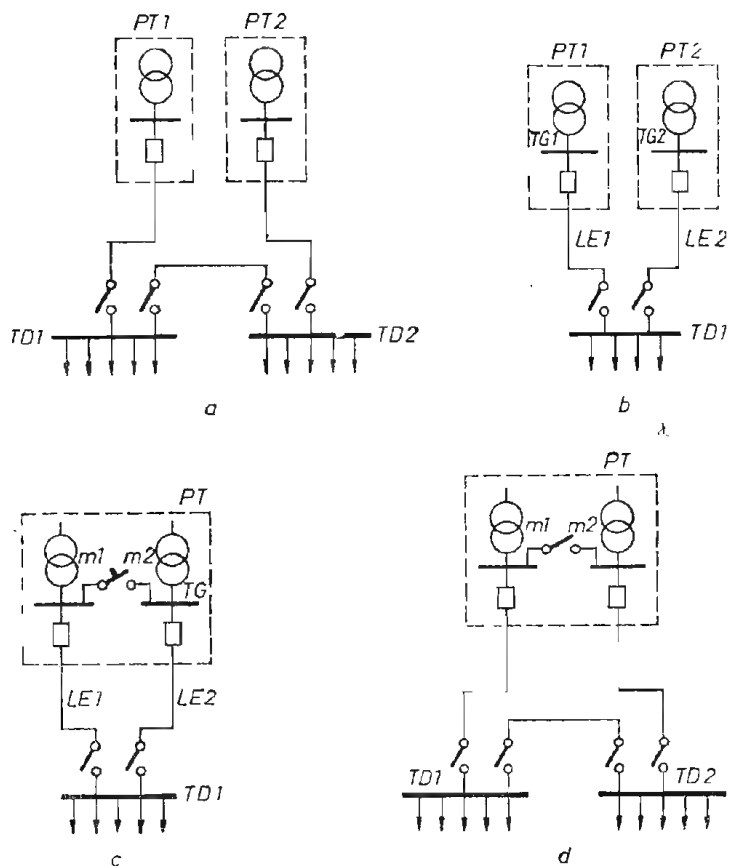


Fig. 4.10. Scheme radiale pentru alimentarea din surse de rezervă a tabloului TD1:

*a* - racordare la un tablou de distribuție TD2 alimentat de la un post de transformare diferit; *b* - racordare la două posturi distincte; *c* - racordare la un PT cu două unități și bare secționate; *d* - racordare la tabloul TD2 alimentat de la o secție diferită de bare a aceluiași post, izvoțut cu două unități.

crează condițiile pentru o rezervă în surse și în plus, se mărește elasticitatea în exploatare a rețelei, permițând ca în orele cu sarcină redusă să se alimenteze întreaga rețea de la un singur post, deconectându-le pe celelalte.

În stabilirea soluțiilor și schemelor instalațiilor de joasă tensiune, proiectantul trebuie să țină seama că între gradul de siguranță oferit de furnizor și cel oferit de instalațiile de înaltă și joasă tensiune ale consumatorului trebuie să se asigure o coordonare perfectă.

Pornind de la axioma că un sistem energetic, oricât ar fi de perfect, nu poate oferi în nici un caz continuitate absolută, evitarea marilor pericole ce pot apare la dispariția tensiunii din sistem, trebuie realizată prin soluții tehnologice sau energetice aplicate la consumator.

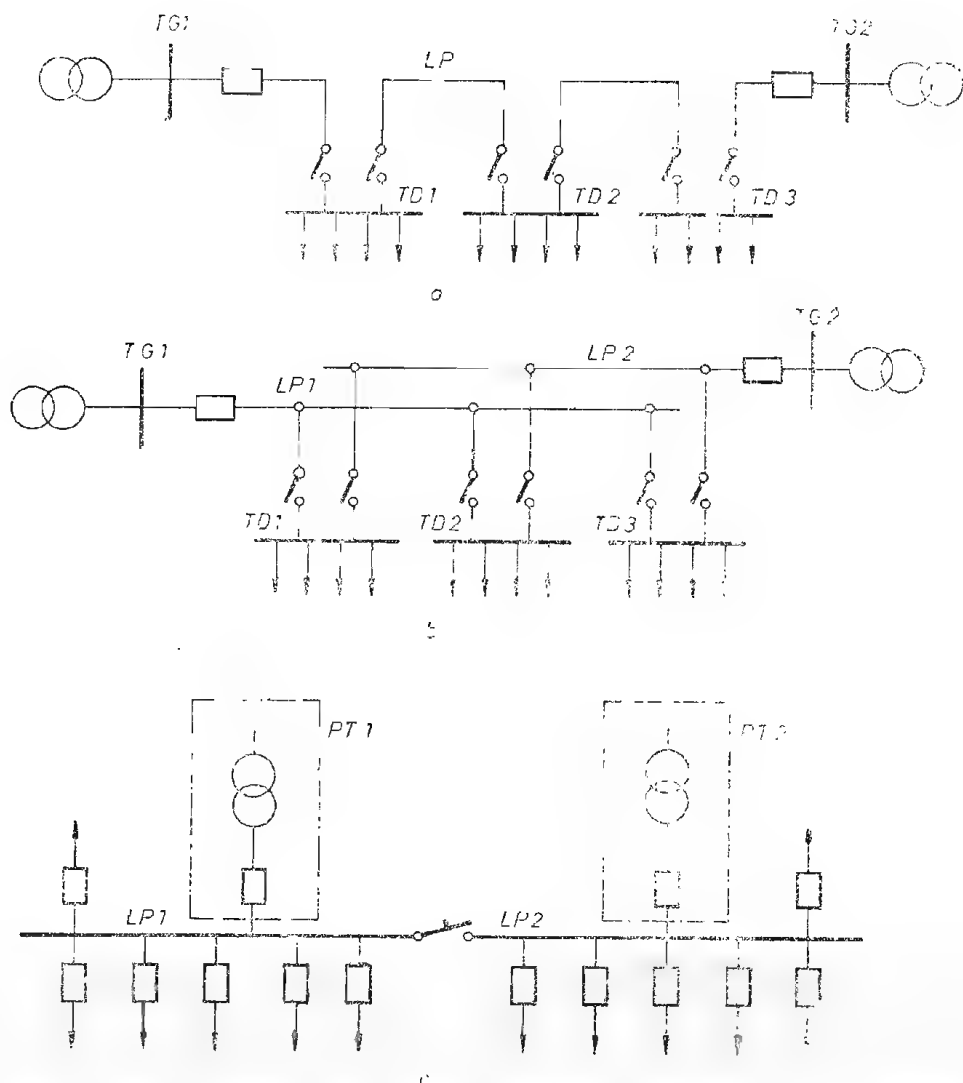


Fig. 4.11. Surse de rezervă pentru tablouri de distribuție alimentate prin linii principale.  
 a — linie principală alimentată la ambele capete; b — linie principală dublă, cu alimentare din două părți; c — distribuție bloc transformator-linie principală.

#### 4.5. CONDUCTE ȘI ECHIPAMENT ELECTRIC PENTRU INSTALAȚIILE ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

Conductele și echipamentul electric utilizate în instalațiile electrice de joasă tensiune se caracterizează printr-o mare diversitate, deosebindu-se din punct de vedere funcțional, constructiv și prin performanțele atinse.

Pentru executarea instalațiilor se vor utiliza numai conducte și echipamente omologate. Alegerea corespunzătoare a acestora este determinată de următorii factori:

— mărimile și parametri nominali electrici sau mecanici proprii ai instalațiilor;

— categoria locului în care se amplasează instalația respectivă; aceasta este determinată de caracteristicile mediului ambiant (din punct de vedere climatic și chimic), pericolul de electrocutare, pericolul de incendiu și explozie, număr de persoane etc. — (tab. 4.1);

Tabelul 4.1

**Clasificarea încăperilor și locurilor în care se amplasează instalațiile electrice**

Criteriu	Categoria	Caracteristici
1	2	3
Din punct de vedere al caracteristicilor mediului	U <sub>0</sub>	Încăperi uscate: nu se produce ceață sau condensatii pe pereți, umiditatea aerului sub 75% (camere de locuit, birouri, magazine, săli de clasă, încăperi industriale cu procese tehnologice uscate etc.)
	U <sub>1</sub>	Încăperi umede cu intermitență (ceață sau condensatii pe pereți pe perioade scurte): umiditatea aerului nu depășește timp îndelungat 75% (spațiile din exterior acoperite în care nu ajung stropi de ploaie, W.C.-urile și bucătăriile din locuințe, căldătoriile și uscătoarele de bloc etc.).
	U <sub>2</sub>	Încăperi umede: umiditatea aerului de 75–97%, însă pereții nu sînt îmbibați cu apă (băile și spălătoriile familiale, bucătăriile publice etc.)
	U <sub>3</sub>	Încăperi ude: umiditatea aerului peste 97%, pereții sînt îmbibați cu apă (băi, dușuri și spălătorii comune sau în industrie, W.C.-uri publice, camere frigorifice, stații de spălare a autovehiculelor etc.).
	PI	Încăperi cu praf incombustibil a cărui depunere pe elementele instalațiilor electrice poate afecta funcționarea acestora (depozite de nisip, ateliere de polizat, fabrici de ciment etc.).
	PC	Încăperi cu praf, scame sau fibre combustibile, dar în mod normal suspensiile în aer ale acestora nu sînt în cantități suficiente pentru a forma amestecuri explozive sau de aprindere.
	K	Încăperi cu mediu corosiv produs de vapori, gaze, lichide, praf etc., cu acțiune distructivă asupra materialelor utilizate la executarea instalațiilor electrice (încăperi pentru baterii de acumulare, W.C.-uri publice, grajduri etc.).
	T	Încăperi sau părți din ele cu temperaturi ridicate permanent peste +35°C sau cu depășiri frecvente peste +40°C (spațiul din jurul cuptoarelor din turnătorii, forje, ateliere de tratament termic etc.).
	CE	Încăperi bune conductoare de electricitate: au pereți, pardoseală, obiecte interioare bune conductoare de electricitate (v. mai jos „Încăperi periculoase și foarte periculoase”)
	EE	Încăperi speciale pentru echipamente electrice accesibile numai persoanelor calificate care au în sarcină exploatarea acestor echipamente (stații și posturi de transformare și conexiuni, camere de distribuție, camere de comandă etc.)

Tabelul 4.1 (continuare)

1	2	3
	Pericol de deteriorare mecanică	Încăpere, spațiu sau loc în care instalația electrică este expusă pericolului de degradare datorită loviturilor.
	Spațiu expus la intemperii	Spațiu expus la acțiunea agenților exteriori naturali (ploaie, soare, ger, zăpadă, gheață etc).
	Zona litoralului	Zonă ce se întinde pe o lățime de cca 3 km de-a lungul țărmului mării.
Din punct de vedere al pericolului de electrocutare	Puțin periculoase	Încăperile sau locurile caracterizate prin: — umiditatea relativă a aerului de max. 75% ; — temperatura aerului de 15...30°C ; — pardosea izolantă.
	Periculoase	Încăperile sau locurile unde este îndeplinită cel puțin una din următoarele condiții: — pardosea bună conducătoare de electricitate (beton, pământ etc) ; — obiecte conductive în legătură electrică cu pământul, care ocupă până la 60% din suprafața zonei de manipulare ; — umiditatea și temperatura aerului sînt respectiv 75...97% și 30...35°C ; — prezență de pulberi conductive (pilituri metalice, oxizi metalici etc) ; — prezență de fluide care micșorează rezistența electrică a corpului omenesc.
	Foarte periculoase	Încăperile sau locurile unde este îndeplinită cel puțin una din următoarele condiții: — umiditatea relativă a aerului este peste 97%, iar temperatura peste 35°C ; — obiectele conductive în legătură cu pământul ocupă peste 60% din suprafața zonei de manipulare ; — mediul este coroziv.
Din punct de vedere al pericolului de incendiu și explozie	A	<p>Încăperi și secții unde se prelucurează, manipulează sau depozitează: substanțe a căror aprindere sau explozie poate avea loc în urma acțiunii apei sau oxigenului din aer, lichide cu temperatura de inflamabilitate a vaporilor pînă la 20°C, gaze și vapori cu limita inferioară de explozie pînă la 10%, cînd sînt în cantități care pot forma cu aerul amestecuri explozibile</p> <p>Funcție de iminența pericolului de explozie, încăperile sînt de următoarele categorii: — E.Io — amestecurile explozive de gaze sau vapori inflamabili există permanent în condiții normale de funcționare ; — E.I — amestecurile explozive de gaze sau vapori inflamabili există: intermitent sau periodic, în condiții normale de funcționare, frecvent datorită întreținerii, reparațiilor sau neatenșităților, ocazional --</p>



Tabelul 4.1 (continuare)

1	2	3
Din punct de vedere al pericolului de incendiu și explozie	B	Idem: lichide cu temperatura de inflamabilitate a vaporilor de 20... 120°C, gaze și vapori cu limita inferioară de explozie mai mare de 10%, cînd sînt în cantități care pot forma cu aerul amestec explozibil
	C	Idem: substanțe și materiale combustibile solide și lichide cu temperatura de inflamabilitate a vaporilor peste 120°C sau unde există aparataj electric cu peste 60 kg ulei pe unitate  - la avarii sau funcționări anormale a instalațiilor tehnologice, situații ce duc și la deranjamente periculoase în funcționarea instalațiilor electrice; - E.Ia - gazele sau lichidele inflamabile sînt păstrate, manipulate și depozitate în vase sau instalații închise, din care pot scăpa accidental; concentrațiile periculoase sînt evitate normal prin ventilație mecanică; pot pătrunde concentrații periculoase din încăperile vecine de categoria E.I; - E.Tb - gazele sau vaporii inflamabili au limita inferioară de explozie peste 15% și miros puternic la concentrația limită admisă; lucrul se face sub nișe sau hote de absorbție; cantitățile de gaze și vapori nu pot forma concentrații periculoase; - E.II - praf combustibil în suspensie (permanent, periodic sau intermitent) în condiții de funcționare normală și în cantități ce pot forma amestecuri explozive sau incendiare: oprirea sau funcționarea anormală a instalațiilor ar duce la formarea concentrațiilor periculoase, posibil să fie aprinse de deranjamente concomitente la instalația electrică; pot apare prafuri bune conducătoare de electricitate; - E.IIa - praf combustibil depozitat pe echipamentul electric, împiedicînd evacuarea căldurii și deci prezentînd pericol de aprindere; - E.III - fibre sau scame ușor inflamabile în suspensie, dar în cantități ce nu pot forma amestec explozibil; - E.IIIb - Se depozitează sau manipulează fibre ușor combustibile.
	D	Idem: substanțe și materiale incombustibile în stare fierbinte, topită sau incandescentă, însoțită de degajări de căldură radiantă sau de flăcări și scînteii, precum și încăperile sau secțiunile unde substanțele combustibile (solide, lichide sau gazoase) sînt folosite drept combustibil
	E	Idem: substanțe și materiale incombustibile în stare rece sau materiale combustibile în stare de umiditate înaltă, cu posibilități de aprindere excluse
Din punct de vedere al numărului de persoane	Aglomerate	Încăperile unde se pot găsi simultan minimum 50 persoane, fiecăreia revenindu-i maximum 4 m <sup>2</sup> de pardoseală, sălile de teatru indiferent de capacitate; săli de spectacol sau întruniri, grupuri de încăperi pentru expoziții, cluburi și cămine sindicale, amplasate la etaj sau parter, dacă pot adăposti minimum 150 (la etaj) sau 200 (la parter) persoane
	Neaglomerate	- Încăperi care nu intră în categoria încăperilor aglomerate

- gradul de protecție al echipamentului față de mediul ambiant (tab. 4.9);

- indicațiile pentru montare (tab. 4.2);

Tabelul 4.2

## Observații.

## Utilizarea echipamentelor electrice funcție de mediu

Specificație	În interior														În exterior	
	Categoriile A, B							Categoriile C, D, E								
	E.I	E.Ia	E.Ib	E.II	E.III	E.IIIa	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>4</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>6</sub>	U <sub>7</sub>	U <sub>8</sub>	U <sub>9</sub>	U <sub>10</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Conductoare neizolate																
Neaprotectate																
Conductoare izolate																
Protejate în:																
IP, IPP, IPFR																
PEL																
IPY, IPFY																
IPEY																
Cu manta (punte)																
Cabli electrice																
Ne-armate																
...YY																
...YYP																
...YPP																
...HP																
Armate																
...YAY																
...YPAY																
...HPB																
...HPBI																
Neaprotectate IP 00																
Bare neizolate																
Protejate																
IP 30																
IP 33																
IP 44																
IP 54																
Ex. d																
Ex. i																
Special																
Aparate electrice protejate:																
IP 00																
IP 20																
IP 33																
IP 44																
IP 54																
Ex. d																
Ex. e, s																
Special																
Corpuri de iluminat protejate:																
IP 00																
IP 20																
IP 33																
IP 54																
Ex. d																
Ex. e, s																
Specială																
Mașini electrice rotative, protejate:																
IP 00																
IP 22																
IP 23																
IP 44																
IP 54																
Ex. d																
Ex. e, s																
Specială																
Transformatoare, condensatoare, protejate:																
IP 00																
IP 20																
IP 21																
IP 23																
IP 44																
IP 54																
Ex. (v. obs.)																
Specială																
Unelte portative protejate:																
IP 00																
IP 30																
IP 33																
IP 44																
IP 54																

Condiții de utilizare:

— în încăperile de categoriile A, B, C conductoarele și barele neizolate neprotejate se pot utiliza numai cu linii de contact pentru alimentări prin culegători de curent (este însă preferabilă utilizarea cablurilor trenate);

— conductoarele izolate neprotejate, tuburile PVC și cablurile cu manta de PVC montate aparent în încăperi de categoria C se admit numai dacă o avarie în aceste instalații nu poate provoca un incendiu;

— temperatura mediului trebuie să fie cuprinsă în limitele  $-25 \dots +40^{\circ}\text{C}$  pentru tuburile PVC și  $-30 \dots +40^{\circ}\text{C}$  pentru cablurile cu izolație și manta de PVC;

— materialul conductoarelor neprotejate și învelișul exterior al conductoarelor izolate, tuburilor de protecție, cablurilor și carcасelor trebuie să fie rezistente la acțiunea corosivă a mediului de amplasare iar în exterior și la intemperii;

— tuburile de PVC nu pot fi montate îngropat în elemente de construcție combustibile; se pot monta însă aparent pe aceste elemente, dacă se interzice un strat de material incombustibil;

— transformatoarele și condensatoarele pentru medii cu pericol de explozie se montează obișnuit în încăperi separate, bine ventilate; când este absolut necesar se pot monta și în medii cu pericol de explozie, numai dacă sunt fără lichide combustibile la răcire; în acest caz medii de realizare a protecției antiexplozive va fi corespunzător mediei respective.

— caracterul specific al instalației electrice respective (iluminat, forță, AMC, specială);

— directivele și actele normative privind limitarea consumului de materiale deficitare, folosirea cu precădere a materialelor plastice și economia de energie electrică.

Indicații concrete privind alegerea tipurilor constructive ale conductelor și echipamentelor pentru instalațiile electrice de joasă tensiune sînt date în [32]. Utilizarea unor echipamente necorespunzător protejate pentru mediul respectiv, pe lângă degradarea lor timpurie, poate duce la accidente grave din punct de vedere al protecției muncii, după cum utilizarea unor echipamente exagerat de protejate aduce prejudicii prin ridicarea inutilă a costului instalației și prin consum suplimentar de materiale în general greu procurabile.

#### 4.5.1. CONDUCTE ELECTRICE

Materialele conductoare sînt cuprul, alumiul, oțelul și oțel-alumiul.

Din punct de vedere constructiv, conductoarele electrice se execută unifilare sau multifilare, ultimele prezentînd avantajul flexibilității și al reducerii efectului pelicular în curent alternativ. Secțiunile normalizate sînt: 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 600 mm<sup>2</sup>.

Conductele utilizate în instalațiile electrice se clasifică în: *conducte neizolate* (conductoare și bare), *conducte izolate pentru instalații fixe*, *conducte izolate pentru instalații mobile*, *cabluri* (de energie, pentru comandă și control, pentru telemecanică), *conducte cu destinație specială* și *conducte pentru autovehicule*.

Simbolurile, caracteristicile, domeniile de utilizare și condițiile tehnice ale conductoarelor electrice sînt analizate pe larg în [24].

a. *Conductele neizolate* se utilizează sub formă de funii cu unul sau mai multe fire — la liniile electrice aeriene de transport și alimentare, sau bare — la linii de contact pentru mașini de ridicat și transportat, la rețele de distribuție, la barele tablourilor electrice și bateriilor de condensatoare, la rețelele scurte ale cuptoarelor electrice și în încăperi în care izolația conductelor poate fi repede degradată datorită mediului coroziv sau a temperaturii ridicate.

Intensitățile maxim admise ale curenților în regim permanent depind de mai mulți factori: tipul conductei și materialul conductor, temperatura mediului ambiant, temperatura maxim admisă pe conductor, amplasament (interior, exterior, număr fire sau bare pe pol, altitudine) etc.; valorile intensităților maxim admise pentru diferite conducte neizolate sînt date în tabelul 4.3. Pentru barele nevopsite și cele de secțiune inelară sau profilată U din cupru sau aluminiiu, intensitățile maxim admise se vor încadra în prevederile STAS 7944-79.

Barele pot fi montate în execuție:

— *deschisă* (barele nu sînt protejate, dar se amplasează la înălțimi inaccesibile);

— *acoperită* (barele se introduc în canale de beton);

— *protejată* (barele se introduc în canale din tablă de oțel, fontă sau PVC avînd gradul de protecție minim IP33);

Tabelul 4.3

Intensitățile maxime admise  $I_{C adm}$  ale curenților în regim permanent pentru conducte neizolate și bare vopsite, montate în aer, la temperatura mediului ambiant de  $+25^{\circ}\text{C}$

Secțiune [mm <sup>2</sup> ]	Curentul maxim admis [A]												
	Cu				Al				Secțiune, mm <sup>2</sup>	Curentul maxim admis [A]			
	Interior		Exterior		Interior		Exterior			OL - Al		OL	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior		Interior	Exterior		
6	50	70	—	—	—	120	395	485	300	375	305	380	—
10	80	95	60	75	80	150	465	570	355	440	365	445	—
16	100	130	75	105	105	185	530	640	410	500	425	510	—
25	140	180	105	135	130	240	635	760	490	590	505	610	—
35	170	220	130	170	175	300	740	880	570	680	585	690	—
50	215	270	165	215	210	400	895	1 050	690	815	715	835	—
70	270	340	210	265	265	500	—	—	820	980	—	—	—
95	335	415	255	320	330	600	—	—	930	1 070	—	—	—

Dia- metru [mm.]	Secțiune [mm²]	Cupru		Aluminiu		Oțel		Dia- metru [mm.]	Secțiune [mm²]	Cupru		Aluminiu		Oțel			
		Greu- tate [daN/m]	Curent [A]	Greu- tate [daN/m]	Curent [A]	Greu- tate [daN/m]	Curent [A]			Greu- tate [daN/m]	Curent [A]	Greu- tate [daN/m]	Curent [A]				
c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a., c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a., c.c.	c.a.	c.c.	c.a., c.c.					
6	28,27	0,252	140	140	0,077	115	115	—	22	380,00	3,380	885	1,030	700	705	2,980	132
7	38,48	0,343	180	180	0,104	140	140	—	25	490,90	4,370	1 055	1 080	840	855	3,800	147
8	50,27	0,447	215	215	0,136	170	170	0,395	28	615,80	5,480	1 225	1 360	975	1 000	—	—
10	78,54	0,699	300	300	0,212	230	230	0,617	30	706,90	6,291	1 340	1 380	1 065	1 100	5,550	172
12	113,1	1,007	385	385	0,305	305	305	0,888	32	804,20	7,178	1 440	1 540	—	—	—	—
14	153,9	1,370	465	465	0,416	370	370	1,210	35	962,10	8,563	1 640	1 770	1 300	1 380	—	—
16	201,1	1,790	565	570	0,543	450	450	1,580	38	1 134	10,100	1 810	1 940	1 435	1 540	—	—
18	234,5	2,265	665	670	0,687	530	530	2,000	40	1 257	11,180	1 925	2 090	1 530	1 660	—	—
20	314,2	2,800	770	775	0,848	615	620	2,470	45	1 590	14,150	2 220	2 470	1 750	1 960	—	—

Bare rotunde

Tabela 4.3 (continuare)

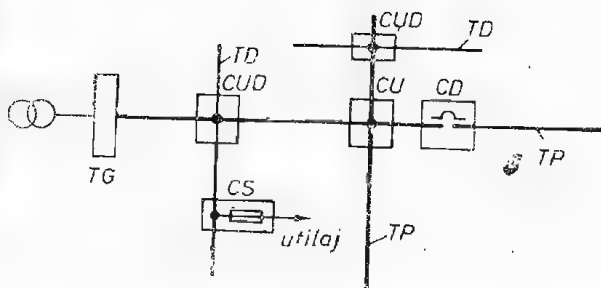
Bare dreptunghiulare montate pe muchie (cant)									
Material	Dimensiuni		Secțiune [mm <sup>2</sup> ]	Greutate [daN/m]	Curentul maxim admis în A, pentru un număr de bare pe față sau pol de:				Curent continuu
	lungime [mm]	grosime [mm]			1	2	3	4	
Cupru	20	3	60	0,53	290	—	—	—	—
	20	5	100	0,89	385	—	—	—	—
	25	5	125	1,11	465	—	—	—	—
	30	5	150	1,34	530	—	—	—	—
	40	5	200	1,78	710	1 180	—	—	—
	40	10	400	3,56	1 000	1 770	—	—	—
	50	5	250	2,23	850	1 410	—	—	—
	50	10	500	4,45	1 215	2 125	—	—	—
	60	5	300	2,67	1 000	1 685	2 300	—	—
	60	10	600	5,34	1 415	2 475	3 305	—	—
	80	5	400	3,55	1 260	2 240	2 950	—	—
	80	10	800	7,12	1 840	2 950	3 895	—	—
	100	5	500	4,45	1 590	2 715	3 540	—	—
	100	10	1 000	8,90	2 215	3 655	4 720	6 370	7 315
Aluminiu	20	3	60	0,162	225	—	—	—	—
	20	5	100	0,270	300	—	—	—	—
	30	3	90	0,243	325	—	—	—	—
	30	5	150	0,405	415	—	—	—	—
	40	5	200	0,540	530	920	—	—	—
	40	10	400	1,080	770	1 380	—	—	—
	50	5	250	0,675	645	1 115	—	—	—
	50	10	500	1,350	940	1 660	—	—	—
	60	5	300	0,810	770	1 335	—	—	—
	60	10	600	1,620	1 105	1 930	2 620	—	—
	80	5	400	1,080	1 010	1 725	2 300	2 990	3 220
	80	10	800	2,160	1 435	2 460	3 290	4 370	4 715
	100	10	1 000	2,700	1 750	2 930	3 910	4 945	5 750

Tabelul 4.3 (continuare)

	Material	Dimensiuni		Section [mm <sup>2</sup> ]	Greutate, [daN/m]	Curentul maxim admis [A]	
		lungime [mm]	grosime [mm]			c.a.	c.c.
Bare dreptunghiulare montate pe muchie (cant)	Oțel	20	3	60	0,47	65	100
		20	4	80	0,63	70	115
		25	3	75	0,59	80	120
		25	4	100	0,78	85	140
		30	3	90	0,71	95	140
		30	4	120	0,94	100	165
		40	3	120	0,94	125	190
		40	4	160	1,26	130	220
		50	3	150	1,18	155	230
		50	4	200	1,57	165	270
		60	3	180	1,41	185	280
		60	4	240	1,88	195	325
		70	3	210	1,65	215	320
		70	4	280	2,20	225	375
		80	3	240	1,88	245	265
		80	4	320	2,51	260	430
		90	3	270	2,12	275	410
		90	4	360	2,83	290	480
		100	3	300	2,35	305	460
		100	4	400	3,14	325	535

Fig. 4.12. Schema unei instalații de distribuție cu bare protejate sau capsulate:

TG — tablou de distribuție general;  
TP — tronson de bare principale; TD — tronson de bare de distribuție; CU — cutie universală pentru magistrală; CUD — cutie universală de distribuție; CS — cutie de siguranță; CD — cutie de dilatare.



— capsulată (barele se introduc în canale cu grad de protecție minim IP54).

Instalațiile de alimentare cu bare protejate sau capsulate permit industrializarea lucrărilor de montaj, măresc siguranța în alimentarea cu energie electrică, asigură extinderea sau modificarea ușoară a rețelei de alimentare și permit și fixarea corpurilor de iluminat pe tronsoane.

În același timp, instalațiile electrice de alimentare prefabricate micșorează pericolul de electrocutare în timpul intervențiilor pentru eliminarea eventualelor defecte. Ele se compun (fig. 4.12) din tronsoane de bare principale (magistrale) și de distribuție, cutii universale pentru îmbinări și derivații (cot, teu sau cruce), cutii de dilatare, cutii cu siguranțe pentru racordarea receptoarelor (forță sau iluminat), piese de capăt (de închidere) și accesorii diferite pentru fixare și montare. Instalațiile se montează la înălțime, semiînălțime sau în pardoseală (fig. 4.13).

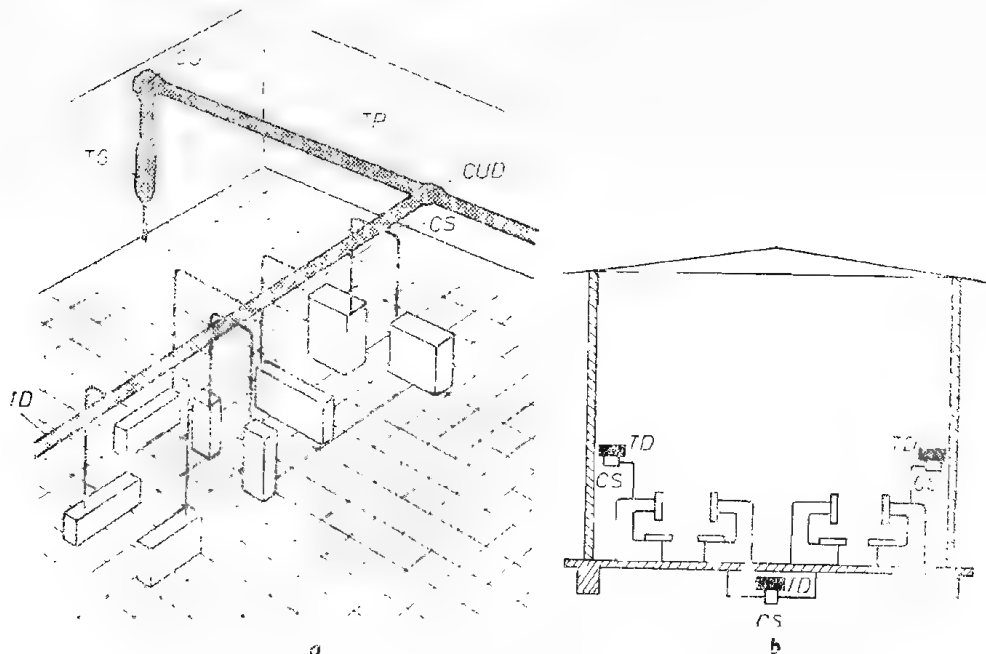


Fig. 4.13. Montarea instalațiilor de distribuție cu bare protejate sau capsulate:  
a — la înălțime; b — la semiînălțime și în pardoseală.

La primele două soluții, sistemul de distribuție se fixează cu ajutorul unor cabluri de oțel, tensionate cu întinzătoare de capăt. Montarea cablurilor de oțel se poate realiza:

- pe console fixate de ziduri sau stâlpi;
- pe stâlpi independenți fixați în pardoseala halelor industriale;
- pe fermele halelor industriale.

Alimentarea cu bare nu se poate utiliza în încăperi cu pericol de explozie și în hale în care există degajări masive de praf sau vapori corosivi sau în care umiditatea relativă depășește 80%.

În R.S. România se produc sisteme de bare capsulate tip TIAB (Trus-tul de instalații și automatizări București) și Electromureș (tab. 4.4).

În instalațiile electrice realizate cu conducte neizolate se folosesc o serie de accesorii de montaj ca:

— cleme de legătură electrică pentru linii aeriene: clemă universală pentru conductoare de cupru cu un șurub (simbol U1,  $s_c = 6 \dots 23 \text{ mm}^2$ ); idem cu două șuruburi (simbol U2,  $s_c = 6 \dots 95 \text{ mm}^2$ ); clemă universală pentru conductoare de aluminiu cu secțiuni egale (simbol UA,  $s_c = 16 \dots 95 \text{ mm}^2$ ); idem cu secțiuni diferite (simbol UB,  $s_c = 16 \dots 95 \text{ mm}^2$ ); cleme de legătură electrică cu plăci de contact (LEPC1 ... 3, CLEAL) care asigură legătura electrică între două conductoare cu secțiuni egale de cupru, aluminiu, oțel-aluminiu și oțel;

— cleme de legătură mecanică pentru linii aeriene: active (TP), active și de protecție (TLC2, TLC3, CTPF), de protecție (TP1, TP2, TP3, CTP1, CTP2, CTP3);

— izolatoare pentru linii aeriene: de susținere tip N și de tracțiune, tip T (pentru un singur conductor) sau TD (două conductoare); izolatoare pentru siguranțe fuzibile (simbol Sig); izolatoare pentru ancorare (A3, A6, A8, IN, IOA, RS<sub>3</sub>, IS, IAS<sub>2</sub>);

— suporturi și treceri izolante pentru bare, în stații electrice; izolatoare pentru tracțiune electrică și izolatoare de tracțiune electrică la macarale și poduri rulante;

— izolatoare pentru instalații interioare (iluminat sau forță) aparente neprotejate (rolă R, rolă clopot RC și rolă mosor Rm).

b. *Conductele izolate pentru instalații fixe* sînt realizate din cupru cu izolație de cauciuc (F 750, Ff750 și Fff750) sau PVC (FY) și din aluminiu cu izolație de cauciuc (AF 750) sau de PVC (AFY). Intensitățile maxim admise în regim permanent pentru aceste conducte sînt date în tabelul 4.5.

Pentru a se asigura protecția loviturilor și a acțiunii mediului ambiant, conductele se introduc în tuburi alese în funcție de gradul de protecție pe care trebuie să-l asigure, de numărul și secțiunea conductelor pe care le protejează [32 anexa 10]. În instalațiile electrice de joasă tensiune se utilizează:

— *tuburi izolante ușor protejate* din PVC, rigide (IPY) sau flexibile (IPFY); se montează în încăperi de categoriile  $U_0$  și  $U_1$  instalate pe elemente de construcție incombustibile în montaj îngropat (ST) sau aparent (PT), în locuri unde nu există pericol de deteriorări mecanice și la înălțimea de cel puțin 2 m de la pardoseală;

— *tuburi de protecție etanșe și lăcuite*. (PEL<sub>i</sub>) sau țevi de oțel (T); se utilizează în încăperi de categoriile  $U_2$ ,  $U_3$ , PI, PC, T și C în montaj aparent sau îngropat și în încăperi de categoria K, cu condiția vopsirii lor cu vopsea anticorozivă corespunzătoare mediului respectiv;



Caracteristicile tehnice ale unor sisteme de bare capsulate sau protejute de Jousă tensiune produse în R. S. România

Ansamblu	Elemente componente	Curent nominal [A]	Dimensiuni de gabarit [mm]
Sisteme de bare principale (magistrale)	Tronsoane principale (TP)	630 ; 1 000 ; 1 600	(290 × 170) × 750 ; 1 500
	Cutii de colț (CC)	—	290 × 290 × 350
	Cutii ramificație principală-principală în L, T sau cruce.	630 ; 1 000 ; 1 600	290 × 230 × 350
	Idem, principală-distribuție, în L, T sau cruce	630 ; 1 000 ; 1 600/200 ; 400	400 × 400 × 200
	Cutii de dilatare (CD)	630 ; 1 000 ; 1 600	—
	Piese de capăt	—	—
Sisteme de bare de distribuție (DISBAR)	Tronson de distribuție (TD)	200 ; 400	(260 × 105) × 1 600 ; 800 ; 450
	Cutii de colț (CC)	—	200 × 200 × 350
	Cutii de ramificație bare distribuție, în L, T sau cruce	200 ; 400	350 × 350 × 150
	Cutii de dilatare (CD)	200 ; 400	—
	Cutii de siguranțe (CS)	25 ; 63 ; 100 ; 315	260 × 165 × 300
	Piese de capăt	—	—
Sisteme de bare principale (magistrale)	Tronson principal (TP)	750 ; 1 350 ; 1 500	305 × 102 × 142 ; 2040
	Cutie universală (CU)	—	477 × 722 × 275
	Cutie de dilatare (CD)	—	722 × 402 × 402
	Tronson distribuție (TD)	200	200 × 280 × 102 ÷ 170
Sisteme de bare de distribuție	Cutie universală de distribuție (CUD)	200	642 × 380 × 300
	Cutie de siguranțe (CS)	25 ; 63 ; 100 ; 200	200 × 252 × 155

Tabelul 4.5

Intensitățile maxime admise  $I_{adm}$  ale curenților în regim permanent pentru conducte cu izolație de PVC sau cauciuc, utilizate în instalații fixe, la temperatura mediului ambiant de  $+25^{\circ}\text{C}$

Secțiunea [mm <sup>2</sup> ]	Intensitatea maxim admisă a curentului [A]									
	Conducte FY, F750					Conducte AFY, AF750				
	Libere în aer	Montate în tub cte				Libere în aer	Montate în tub cte			
		2	3	4	5; 6		2	3	4	5; 6
1	20	14	12	11	10	—	—	—	—	—
1,5	25	17	14	13	11	—	—	—	—	—
2,5	34	24	20	18	16	27	18	16	15	13
4	45	31	26	24	21	35	23	20	18	16
6	57	40	34	31	27	45	30	27	25	21
10	78	55	49	45	39	61	41	36	33	29
16	104	73	64	58	51	82	55	47	43	38
25	137	100	84	76	67	107	74	66	60	53
35	168	125	108	98	87	132	95	83	76	65
50	210	150	135	123	109	165	118	103	94	82
70	260	200	171	156	137	205	155	131	119	104
95	310	241	218	198	174	245	187	166	151	133
120	365	272	250	228	196	285	217	191	174	153
150	415	310	280	255	224	330	238	214	195	171
185	475	—	—	—	—	375	—	—	—	—
240	560	—	—	—	—	440	—	—	—	—
300	645	—	—	—	—	510	—	—	—	—
400	750	—	—	—	—	605	—	—	—	—

- Observații.** 1. Temperatura maxim admisă pe conductor este  $+70^{\circ}\text{C}$  pentru izolația din PVC și  $+60^{\circ}\text{C}$  pentru izolația din cauciuc.  
 2. Intensitățile maxime admise ale curenților pentru 3 conducte în tub sînt valabile și pentru circuitele trifazate echilibrate sau nu, avînd conducta de nul și protecție (4 sau 5 conducte în același tub, din care 3 active).  
 3. Intensitățile maxime admise de curent pentru conducte cu izolație și manta vor fi, în cazul conductelor cu 2 respectiv 3 conductoare, cele pentru 2 respectiv 3 conducte în tub, la secțiunile corespunzătoare.

— tuburi izolate de protecție etanșe din PVC rigide (IPEY) și țevi din PVC tip 1 (foste țevi PVC U); se utilizează în încăperi de categoriile U<sub>0</sub>, U<sub>3</sub> și PI sau încăperi cu degajări de vapori corozivi pentru alte materiale decât PVC-ul în montaj aparent sau îngropat pe (în) elemente de construcție incombustibile.

Dimensiunile tuburilor și țevelor de protecție din PVC utilizate în instalațiile electrice sînt date în tabelul 4.6.

Tabelul 4.6

Tuburi și țevi din PVC pentru protecția conductoarelor izolate de tip FY, AFY

IPY-STAS 6990-77   1.7.78	$d$ [mm]	10,4	13,4	15,4	21,7	29,1	36,4
	$d_1$ [mm]	13	16	18	25	32	39
	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	0,063	0,081	0,091	0,162	0,250	0,343
	$n_{\text{câ}}/\text{tub pentru } s_c$ [mm <sup>2</sup> ]	0,5 1 1,5 2,5 4 6 10 15 25 35 50 70 95 120	6 4 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	8 7 5 3 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	11 8 7 5 3 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1	17 10 8 7 6 6 3 2 1 1 1 1 1 1 1	24 16 16 8 7 7 5 3 3 3 1 1 1 1 1
IPEY STAS 6990-77   1.7.78	$d$ [mm]	13,4	16,8	21,8	28,1	35,6	45,2
	$d_1$ [mm]	16	20	25	32	40	50
	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	0,081	0,121	0,160	0,250	0,352	0,484
	$n_{\text{câ}}/\text{tub pentru } s_c$ [mm <sup>2</sup> ]	1 0,5 1 1,5 2,5 4 6 10 16 25	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	4 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	5 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4	6 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
IPEY-STAS 6990-77 + 1.7.78	$d$ [mm]	35	—	—	1	3	5
	$d_1$ [mm]	35	—	—	1	2	4
	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	—	—	—	—	—	—
	$n_{\text{câ}}/\text{tub pentru } s_c$ [mm <sup>2</sup> ]	35 50 70 95 120 150 185	— — — — — — —	— — — — — — —	1 1 1 1 1 1 1	3 2 1 1 1 1 1	5 4 3 2 1 1 1
PVC-U-STAS 6675-78 + 1.7.78	$d$ [mm]	46,4	59,4	71,4	86,4	—	—
	$d_1$ [mm]	50	63	75	90	—	—
	$\gamma$ [kg/m <sup>3</sup> ]	0,442	0,530	0,642	0,774	—	—
	$n_{\text{câ}}/\text{tub pentru } s_c$ [mm <sup>2</sup> ]	16 33 50 70 95 120 150 185	7 5 4 3 2 2 2 2	— 7 5 6 5 4 3 2	— — — — 5 4 4 4	— — — — — — — —	— — — — — — — —

Notă. 1. Semnificația simbolurilor din capetele tabelului este:  $d$ ,  $d_1$  — diametrul interior exterior;  $\gamma$  — masa specifică

2. Tuburile IPY sînt alb-gălbui pînă la cafeniu iar IPEY, vernil. Lungimea de livrare, 3 m. Țevile PVC-U sînt negre. Lungimea de livrare, 4 ÷ 12 m.

Accesoriile tuburilor de protecție sînt:

- manșoane sau mufe de legătură pentru înădăirea tuburilor (pentru tuburile etanșe se utilizează mufe filetate);
- coturi și curbe pentru schimbarea direcției;
- doze și cutii de ramificație; dozele se utilizează pentru tuburi IP (doze de aparat AIP și doze de ramificație rotunde RIPP 11 ... 23 sau patrate RIPP 29; 36), PEL (doze PEL 12,7 ... 55,8 cu 2, 3, 4 ieșiri care, la neutilizare, pot fi astupate cu dopuri PEL filetate) sau IPEY, în timp ce cutiile de ramificație se folosesc pentru țevi T sau țevi din PVC;
- mufe, tile și pipe;
- bride de prindere cu o ureche SIP9 ... 48 sau două urechi SDIP23 ... 48 (pentru tuburi IP).

În instalațiile fixe se utilizează și o serie de conducte electrice cu destinație specială și anume:

- conducte punte cu izolație și manta de PVC (FPYY, AFPYY și AFPYYS) montate îngropat, fără tub de protecție, în elementele de construcție sau în golurile elementelor de beton, în încăperi de categoria U<sub>0</sub>, U<sub>1</sub>, EE, C, D și E; conductele AFPYYS au două conductoare de aluminiu și un conductor de cupru, utilizîndu-se pentru alimentarea prizelor monofazice cu contact de protecție;
- conducte rezistente la intemperii, normale (AFYI) sau ignifugate (AF2YIR) utilizate în atmosferă corozivă;
- conducte de cupru cu izolație de cauciuc și împletitură textilă pentru corpuri de iluminat;
- conducte de cupru armate cu izolație PVC (FYA).

c. *Conductele izolate pentru instalații mobile* asigură racordarea la sursele de alimentare a receptoarelor mobile (aparate electrocasnice, lămpi portative, mașini de găurit etc), fiind executate din conductoare de cupru cu izolație și manta de cauciuc (cordoane în manta de cauciuc, execuție ușoară

Tabelul 4.7

**Intensitățile maxim admise  $I_{Cadm}$  ale curenților în regim permanent pentru cordoane cu conductoare de cupru, cu izolație și manta de cauciuc sau PVC, în execuție ușoară, medie sau grea, pentru instalații electrice mobile, montate în aer, la temperatura mediului ambiant  $+25^{\circ}\text{C}$**

Secțiunea conductoarelor [mm <sup>2</sup> ]	Intensitățile maxime admisibile ale curenților [A]		
	Numărul de conductoare ale cordonului		
	1	2	3
0,5	—	12	—
0,75	—	16	14
1	—	18	16
1,5	—	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	190	150	130
50	235	185	160
70	290	235	200

tip MCCU sau MCCUT; idem, execuție mijlocie tip MCCM sau MCCMT; cabluri în manta de cauciuc execuție grea tip MCCG sau MCCG-I; cordoane în manta de cauciuc special execuție mijlocie tip MCCMI, cabluri în manta de cauciuc special, execuție grea tip MCCG-Is) sau de PVC (cordoane cu izolație de PVC, execuție ușoară tip MYUp, MYYUp sau MYYU; idem, execuție mijlocie tip MYVM; idem, execuție grea tip MYYG; conducte foarte flexibile cu izolație de PVC tip MYff).

Intensitățile maxim admise ale curenților în regim permanent pentru conducte destinate instalațiilor electrice mobile sînt date în tabelul 4.7.

d. *Cablurile* sînt conducte electrice avînd următoarele elemente componente (fig. 4.14) [43];

conductorul cablului (din aluminiu sau cupru) de formă rotundă, sector sau profil;

— izolația conductorului, realizată din hîrtie impregnată cu materiale izolante sau izolație sintetică (uscată) din materiale termoplastice (poli-clorură de vinil—PVC și polietilena—PE) sau elastomeri (polietilena reticulată, policlorura de vinil reticulată, cauciucul siliconic etc);

— ceranul (aplicat numai în cazuri speciale) reprezintă un înveliș metalic (plumb, aluminiu) aplicat peste un conductor izolat sau peste un ansamblu de conductoare izolate cu scopul principal de a elimina sau atenua acțiunea cîmpurilor electrice sau magnetice străine asupra curentului electric ce trece prin cablu și invers;

— învelișul cablului, format din ansamblul straturilor destinate realizării unei forme determinate a cablului și asigurării protecției contra degradărilor exterioare; el cuprinde materialul de umplutură între conductoarele izolate, învelișul de etanșeizare (realizat din materiale sintetice sau metalice, asigură protecția izolației contra umezelii sau agenților corosivi), armătura (benzi metalice înfășurate, împletitură de sîrmă sau sîrmă înfășurată care asigură o protecție mecanică suplimentară) și învelișul exterior (realizat din materiale sintetice, asigură protecția chimică și mecanică a cablului).

Caracteristicile electrice ale cablurilor sînt tensiunea nominală și curențul maxim admisibil de durată. Tensiunea nominală este tensiunea pentru care a fost proiectat cablu și la care se referă caracteristicile sale de funcționare și încercare. Ea se exprimă prin ansamblul valorilor  $U_0/U$ , în care  $U_0$  este tensiunea nominală (valoare efectivă) între un conductor și învelișul metalic al cablului sau pămînt, iar  $U$  — tensiunea nominală (valoare efectivă) între două conductoare ale cablului ( $U = U_0\sqrt{3}$  în curent alternativ triafazat;  $U = 2U_0$  în c.a. monofazat sau în c.c.).

Curențul maxim admisibil de durată este sarcină maximă (la o anumită temperatură a mediului ambiant) pe care o pot suporta conductoarele cablului, fără a se depăși temperatura maxim admisă de lucru, în regim de durată.

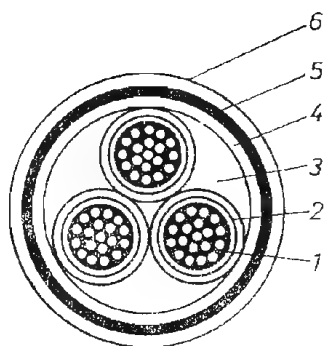


Fig. 4.14. Cablu ACYAbY:

1 — conductor; 2 — izolația conductorului; 3 — umplutura; 4 — manta; 5 — armătură din benzi de oțel; 6 — strat protector.

Din punct de vedere al rezistenței la foc, cablurile pot fi :

- fără întârziere la propagarea flăcării : cablul care nu îndeplinește condițiile menționate mai jos ;

- cu întârziere la propagarea flăcării : cablul care prezintă proprietatea că încercat individual la acțiunea flăcării, aceasta se stinge singură după un timp determinat și la o lungime determinată de la locul aplicării flăcării ;

- cu întârziere mărită la propagarea flăcării : cablul cu proprietatea că încercat în grup (pe trasee verticale sau orizontale) la acțiunea flăcării, aceasta se stinge singură după un timp determinat și la o lungime determinată de locul aplicării flăcării ;

- rezistent la foc : cablul care continuă să funcționeze normal în timpul și după un foc prelungit, intensitatea focului fiind suficientă pentru a distruge materialul organic al cablului în zona în care se aplică flacăra.

După utilizare, cablurile pot fi :

- cabluri de energie (de forță), utilizate în circuitele primare ale instalațiilor electrice ;

- cabluri pentru comandă și control (de circuite secundare sau de semnalizare), utilizate în instalațiile de comandă, semnalizare, blocaj, reglaj, protecție și automatizare având tensiuni de serviciu sub 400 V (inclusiv cablurile pentru alimentarea unor receptoare ca : dispozitive de acționare ale aparatelor primare ; vane, ventile și clapete cu acționare electrică ; încălzirea și iluminatul local al cutiilor de clemă și dulapurilor de relee, dacă puterea acestora nu depășește 10 kW) ;

- cabluri pentru telemecanică (cablul—pilot), utilizate în instalațiile de telesemnalizare, telemăsură, telecomenzi și teleprotecție, având în general tensiuni de serviciu sub 60 V).

Cablurile de energie sînt foarte mult utilizate în realizarea instalațiilor de alimentare și distribuție în joasă tensiune. Valorile intensităților maxime admise ale curenților în regim permanent pentru cîteva tipuri uzuale de cabluri sînt date în tabelul 4.8 ; pentru alte tipuri de cabluri se vor consulta lucrările [12, 24, 32].

În interiorul clădirilor, montarea cablurilor se poate face (fig. 4.15) :

- pe pereți, sub planșee sau în subsolurile tehnologice ;

- în tunele sau în canale de cabluri din beton ;

- în blocuri de cabluri și în tuburi sau țevi de protecție.

Susținerea se realizează cu console sau suporturi din cornier, suporturi prefabricate (paturi de cabluri) prin asamblarea cărora se obțin stelaje și rafturi de forma dorită (elemente Mecano sau Unitas produse de TIAB), scări verticale pe pereți, jgheaburi metalice sau din alt material necombustibil, cabluri portante din funii de oțel etc.

Cablurile montate în exteriorul clădirilor se introduc în șanțuri săpate în pămînt și se protejează prin cărămizi și țevi de oțel sau beton. În zonele cu densitate mare de rețele tehnologice subterane, se admite pozarea în aer liber a rețelilor de cabluri exterioare pe estacade, poduri suspendate sau tuburi de protecție (cabluri nearmate).

Pentru montare se folosesc o serie de accesorii : scoabe, bride sau suporturi de susținere și fixare ; manșoane de legătură din fontă (ML—45 ... 85) sau plumb (MP—45 ... 85) și manșoane de derivație (MD—50/40 ... 90/80 și MLD—60/50 ... 90/80 din fontă) ; cutii terminale care asigură protecția cablului contra umezelii sau poluării și racordarea cablului la aparatura adiacentă — fabricate din fontă cenușie moale sau din aliaj

Tabelul 4.8

Intensitățile maxime admise  $I_{Cadm}$  ale curenților în regim permanent pentru cabluri de joasă tensiune ( $U_0/U = 0,6/1$  kV) cu izolație și manta de PVC

Secțiunea conductoarelor [mm <sup>2</sup> ]	Cabluri montate în pământ, la temperatura mediului ambiant de +20°C						Cabluri montate în aer, la temperatura mediului ambiant de +30°					
	Cupru, cu			Aluminiu, cu			Cupru, cu			Aluminiu, cu		
	1 conductor (în c.c.)	2 conductoare	3,4 conductoare	1 conductor (în c.c.)	2 conductoare	3,4 conductoare	1 conductor (în c.c.)	2 conductoare	3,4 conductoare	1 conductor (în c.c.)	2 conductoare	3,4 conductoare
1,5	37	30	27	—	—	—	26	21	18	—	—	—
2,5	50	41	36	—	—	—	35	29	25	—	—	—
4	65	53	46	52	42	36	46	38	34	36	30	27
6	83	66	58	68	52	45	58	48	44	46	38	34
10	110	88	77	86	69	60	80	66	60	63	52	47
16	140	115	100	113	90	78	105	90	80	82	70	63
25	190	150	130	150	115	100	140	120	105	110	94	82
35	235	180	155	180	140	120	175	150	130	135	115	100
50	280	210	185	215	165	145	215	180	160	165	140	125
70	350	260	230	270	200	175	270	230	200	210	180	155
95	420	315	275	325	245	215	335	275	245	260	215	190
120	480	360	315	375	275	245	390	320	285	300	250	210
150	540	400	355	420	315	275	445	375	325	350	290	250
185	620	460	400	480	355	310	510	430	370	400	335	285
240	720	530	465	560	415	360	620	510	435	480	395	340
300	820	590	520	640	465	410	710	590	500	550	460	390
400	960	680	600	740	540	470	850	710	600	660	550	460
500	1110	—	—	860	—	—	1000	—	—	780	—	—

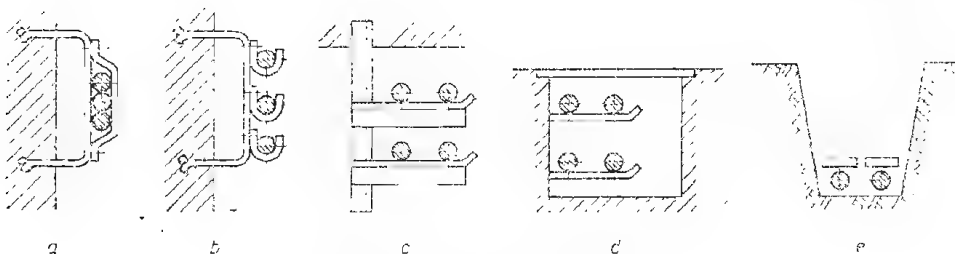


Fig. 4.15. Montarea cablurilor:

a, b — pe pereți cu console; c — pe stelaje metalice; d — în canale de beton; e — în șanțuri.

de aluminiu (tipurile ICI), tablă de oțel (tipurile CS la cabluri pentru comandă și control) sau plumb (tipurile CTRJ), pentru interior sau exterior, la diferite secțiuni ale cablului; capete terminale servind pentru legarea și protejarea capetelor de cabluri.

Reglementările în vigoare recomandă utilizarea cât mai redusă a cablurilor, iar în cazurile în care folosirea acestora este indispensabilă, se indică utilizarea cu precădere a cablurilor cu izolație și manta din materiale plastice.

Cablurile pentru comandă și control au un număr mare de conductoare (2 ... 61) din cupru de secțiune mică (0,75 ... 10 mm<sup>2</sup>) și se clasifică în cabluri de comandă (CCHP, CCHPI, CCHPAb, CCHPAbI, CCAfYY, CCAfYVAr) și cabluri de semnalizare (CSYY, CSYAbY, CSHP, CSHPi etc).

Cablurile pentru telemecanică au un număr foarte mare de conductoare (2 ... 1224 perechi) din cupru de secțiune redusă (0,5 ... 0,9 mm<sup>2</sup>). În instalațiile de telemecanică se folosesc cabluri pentru telecomandă (TYY), cabluri de centrală (TCY, TCYY sau TCYP), radioficare (CR2YY) și conducte ecranate (TYEY).

e. *Conductele cu destinație specială* se utilizează pentru alimentarea cu energie electrică a instalațiilor de ascensoare, navale, miniere, de prospecțiuni și exploatare petroliere etc. Aceste conducte necesită proprietăți speciale impuse de condițiile specifice de funcționare și sunt fabricate într-o gamă largă de tipuri și dimensiuni.

#### 4.5.2. APARATE ELECTRICE

În instalațiile electrice de joasă tensiune se utilizează un mare număr de aparate electrice caracterizate prin performanțele atinse de caracteristicile lor tehnice și prin funcția pe care o îndeplinesc în schemele electrice. Principalele caracteristici tehnice sunt: tensiunea nominală  $U_n$ , curentul nominal  $I_n$ , tensiunea de comandă  $U_c$  a elementului (electromagnet sau motor) de acționare, frecvența de conectare  $f_c$ , curentul (capacitatea) de rupere  $I_r$ , curentul (capacitatea) de închidere  $I_i$ , durata de rupere  $t_r$ , curentul limită termic  $I_{lt}$  (la un timp  $t_{lt}$ ), curentul limită dinamic  $I_{ld}$ , caracteristica de protecție (funcționare)  $I_{act} = f(t)$  și gradul de protecție față de mediul ambiant — tabelul 4.9 (protecția este indicată prin simbolul IP urmat de trei cifre care pot lua valorile din prima coloană a tabelului).

Pentru definirea releelor și declanșatoarelor, se indică curentul lor nominal  $I_n$ , curentul de serviciu  $I_s$  și curentul reglat  $I_r$  ( $I_r = k_r I_s$ ).

Din punct de vedere al funcțiunilor pe care le îndeplinesc, se deosebesc următoarele categorii:

- aparate de conectare;
- aparate de protecție;
- aparate de conectare și protecție;
- aparate pentru pornirea motoarelor electrice;
- aparate de semnalizare;
- aparate de măsură.

O prezentare completă a aparatelor electrice de joasă tensiune fabricate în țară este dată în lucrarea [7].



Grade normale de protecție asigurate prin carcase

Cifra după simbolul IP	Prima cifră : protecția împotriva pătrunderii corpurilor străine și protecția persoanelor	A doua cifră : protecția contra pătrunderii apei	A treia cifră : protecția contra deteriorării mecanice		
			Masa barecoului [kg]	Înălțimea de cădere, [m]	Deplasarea orizontală [m]
0	Neprotejat	Neprotejat	—	—	—
1	Protejat contra pătrunderii corpurilor solide străine cu dimensiuni :	Protejat contra picăturilor verticale de apă	0,15	—	—
2		Protejat contra picăturilor de apă ce cad sub un unghi de max. 15° față de verticală	0,5	0,4	0,8
3		Protejat contra apei căzând ca ploaia	1,5	—	—
4		Protejat contra stropirii cu apă	5	—	—
5	Protejat contra pătrunderii prafului	Protejat contra jeturilor de apă	15	—	—
6		Protejat contra condițiilor de pe puntea navelor	—	—	—
7		Protejat contra înversării în apă	—	—	—
8		Protejat contra înversării prelungite în apă	—	—	—

**Observații.**

1. A treia cifră se utilizează numai la aparatele electrice.

2. Dacă gradul normal de protecție se simbolizează printr-o singură cifră caracteristică, cifra (cifrele) omisă trebuie să fie înlocuită cu litera X.

3. În simbolul pentru gradul de protecție se pot introduce litere suplimentare care implică condiții de utilizare sau verificare speciale (ex. W — utilizare în condiții atmosferice specifice).

1. *Aparatele de conectare* servesc pentru stabilirea și întreruperea manuală a circuitelor parcurse de curentul nominal, neputînd asigura deconectarea receptoarelor în caz de defect. Din această categorie fac parte:

întreruptoare (monopolare, bipolare, dubie) și comutatoare (grup, serie, alternativ și cruce) pentru instalații interioare de iluminat avînd curent nominal de maximum 10 A; pot fi rotative, cumpănă, basculante sau cu buton, pentru montaj aparent (*PT*) sau îngropat cu doză de aparat (*ST*), avînd format dreptunghiular (*D*) sau rotund (*R*). Pentru montaj în clădirile industriale aceste aparate sînt protejate în carcase metalice sau de bachelită;

— întreruptoare tripolare cu pîrghie ( $I_n = 25, 63, 100$  A) și manetă ( $I_n = 200, 350, 600, 1\,000$  A) pentru circuite de lumină și forță în curent continuu și alternativ;

— întreruptoare și comutatoare pachet ( $I_n = 10, 25, 63$  A) utilizate pentru comanda mașinilor unelte și pe tablourile instalațiilor electrice;

întreruptoare și comutatoare cu came tip C ( $I_n = 16, 25, 40, 63$  A) — tabelul 4.10;

— separatoare tripolare pentru interior ( $I_n = 200, 350, 600, 1\,000$  A);

— prize și fișe bi- sau tripolar, pentru aparate electrocasnice ( $I_n = 10$  A), în execuție normală sau protejate în carcasă metalică sau de bachelită, pentru montaj aparent (*T*) sau îngropat cu doză de aparat (*ST*);

— prize și fișe tripolare pentru instalații industriale ( $I_n = 10, 16, 25, 32, 63$  A), în carcasă metalică sau de bachelită. Prizele pot fi cu sau fără contact de protecție;

— contactoare comandate prin electromagneți, avînd capacitate de rupere redusă și frecvență de conectare mare — tabelul 4.11 și figura 4.16.

Tabelul 4.10

Comutatoare cu came fabricate în R. S. România

Tip	C.16				C.40	C.63
Cod	9760	9761	9762	9763	9782	9783
Curent nominal $I_n$ [A]	16				40	63
Tensiune nominală $U_n$ [V.c.a/c.c.]	500/440				500/—	
Curentul de conectare în c.a. $I_{ca}$ [A/cos $\varphi$ ]	18/0,4				36/0,7	95/0,7
Durata de acționare $DA$ [%]	100					
Frecvența de conectare $f_c$ [con/h]	30					
Număr etaje $n_e$	1—12	1—8	1—8	1—8	1—6	1—3
Număr poziții $n_p$	2—6F	1F, 1R	2F—1R	1F+2R	2—6F	2—6F
Acționare	Prin buton sau miner					

Observații.

Sizaboluri: F — ferm; R — cu revenire.

Principalele tipuri de contactoare fabricate în R. S. România

a) Seriele TCA, BC, MC

Tip	Cod	Caracteristici tehnice comune	Contacte principale				Contacte auxiliare		Căburii $L \times L \times (b + a)$ [mm]
			Curent nominal $I_n$ [A]	Frecvența de comutare $f_c$ [con./h]	Curent incident $I_{in}$ [A]	Curent de rupere $I_r$ [A]	N/V/D	Curent nominal $I_A$ [A]	
TCA 6	4000	$U_n = 500$ V.c.a.	6	600	60	48	0/1	6	$47 \times 72 \times (79 + 15)$
	4001	$U_e = 24; 48; 110; 220; 380;$					2/2		$47 \times 72 \times (98 + 15)$
	4005	$500$ V c.a.	10	600	110	88	0/1	6	$47 \times 72 \times (79 + 15)$
	4006						2/2		$47 \times 72 \times (98 + 15)$
TCA 32	4010	$f = 50$ Hz	32	600	320	256	2/2	6	$83 \times 96 \times (119 + 20)$
TCA 40	4015A	Protecția: IP000	40	600	400	320	2/2	6	$103 \times 102 \times (116 + 25)$
TCA 63	4020A		63	600	630	504	2/2	10	$119 \times 130 \times (139 + 30)$
TCA 125	4028		125	120	880	660	2/2	10	$150 \times 170 \times (180 + 45)$
TCA 200	4032		200	120	1760	1320	2/2	16	$190 \times 198 \times (210 + 45)$
TCA 250	4035		250	120	2080	1560	2/2	16	$214 \times 239 \times (261 + 60)$
TCA 400	4040		400	120	3520	2640	2/2	16	$245 \times 260 \times (310 + 65)$
TCAC 10	4007	$U_n = 500$ V.c.a.	10	600	60	48	0/1	6	$44,5 \times 71 \times (93 + 15)$
	4008	$U_e = 24; 48; 60; 110; 220$ V.c.c.					2/2		$44,5 \times 71 \times (111 + 15)$
TCAC 32	4011	$f = 50$ Hz	32	600	320	256	2/2	6	$83 \times 111 \times (141 + 20)$
	3530	$U_n = 220$ V.c.c.							
BC 60	3540	$U_e = 110; 220$ V.c.c.	60	10	240	240	-	-	$85 \times 240 \times (151 + 29)$
	3543	$U_n = 220$ V.c.c.							
MC 80	3543	$U_e = 48; 110; 220$ V.c.c.	80	120	320	320	1/1	8	$176 \times 240 \times (157 + 29)$
	3546						1/1		
MC 100	3550	$U_n = 750$ V.c.c.							
	3560	$U_e = 24; 48; 110; 220; 440$ V.c.c.	100	600	400	400	2/2	8	$80 \times 400 \times (175 + 32)$
MC 150	3563	$U_n = 220$ V.c.c.							
	3565	$U_e = 48; 110; 220$ V.c.c.	150	120	600	600	1/1	8	$80 \times 400 \times (175 + 32)$

Tabelul 4.11 (continuare)

b) Seria AR

Tip	Coef	Caracteristici tehnice comune	Current nominal $I_n$ [A]	Contacte auxiliare NI/ND	Gabarit $l \times L \times h$ [mm]	Puterea bobinei $P_b$ [W]
AR 6	8100	$U_n = 500$ V c.a. $f = 50$ Hz	6	0/1	47,5 × 50 × 75	9
	8101			0/1	47 × 72 × 79	17
				2/3	47,5 × 50 × 90	9
				2/2	47 × 72 × 98	17
AR 10	8105		10	0/1	47,5 × 50 × 75	9
				0/1	47 × 72 × 79	17
				2/3	47,5 × 50 × 90	9
				2/2	47 × 72 × 98	17
AR 16	8107		16	2/3	55 × 55 × 100	10
				2/2	83 × 96 × 119	18
				2/3	60 × 60 × 100	12
				2/2	83 × 96 × 119	18
AR 25	8108		25	2/2	75 × 75 × 115	16
				2/2	83 × 96 × 119	18
				2/2	80 × 80 × 120	20
				2/2	103 × 102 × 116	25
AR 40	8109		40	2/2	103 × 105 × 160	45
				2/2	150 × 170 × 180	100
				2/2	140 × 150 × 175	85
				2/2	190 × 198 × 210	115
AR 63	8110		63	2/2	150 × 195 × 200	120
				2/2	214 × 239 × 261	235
				2/2	190 × 220 × 240	140
				2/2	245 × 260 × 310	200
AR 100	8111		100	2/2		
				2/2		
				2/2		
				2/2		
AR 160	8112		160	2/2		
				2/2		
				2/2		
				2/2		
AR 250	8113		250	2/2		
				2/2		
				2/2		
				2/2		
AR 400	8114		400	2/2		
				2/2		
				2/2		
				2/2		

**Notă.** 1. Semnificația simbolurilor: NI/ND -- normal închis/normal deschis;  $l$  -- lungime;  
 $i$  -- lățime;  $h$  -- înălțime;  $a$  -- cursă deschidere (lungimea șuruburilor de fixare la contactoarele de c.c.).  
 2. Curenții de închidere și rupere pentru contactele principale sunt dați pentru 20 de cicluri.

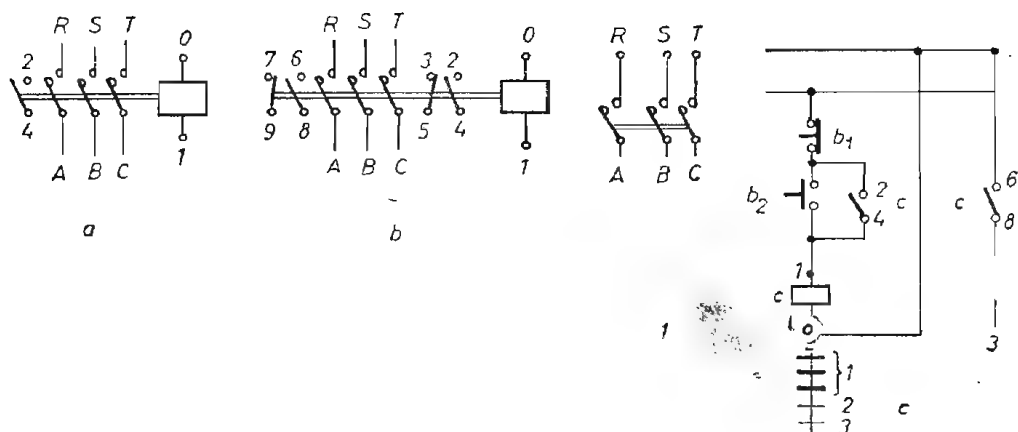


Fig. 4.16. Schema electrică și marcarea bornelor pentru contactoare comandate prin electro-magneți:

*a* — cu un contact auxiliar; *b* — cu patru contacte auxiliare; *c* — reprezentarea în scheme desfășurate.

2. *Aparatele de protecție* realizează protecția receptoarelor sau a rețelelor electrice împotriva scurtcircuitelor, a suprasarcinilor și a lipsei sau scăderii tensiunii de alimentare. Ele se împart în următoarele categorii:

- siguranțe fuzibile;
- contactoare cu relee;
- întreruptoare automate.

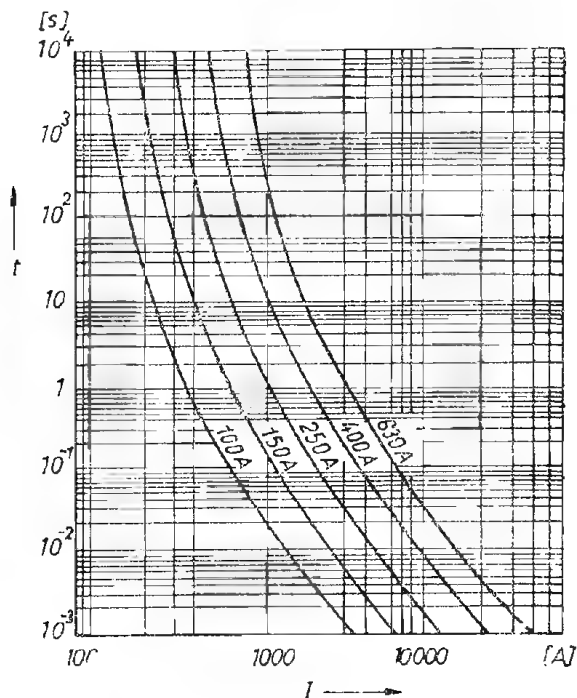


Fig. 4.17. Caracteristica de protecție a siguranțelor MPR.

Tabelul 4.12

## Caracteristicile tehnice ale siguranțelor fuzibile de joasă tensiune

Tip	Tensiunea nominală $U_n$ [V]	Curenți nominali $I_n$ [A]			Caracteristicile de protecție ( $t_{gr}$ )			Culoare semnalizare fuzibil	Observații
		Soclu	Capac	Patron fuzibil	la $1,75 I_n$ cel puțin	la $7 I_n$ cel mult	Curent de rupere $I_r$ [kA]		
cu fișet E16	LF, LFI LS, LSI 660 V.c.a. 220 V.c.c.	25	25	0,5...25	—	—	0,35		$I_{gr} = 0,5; 2; 4; 6; 10;$ 16; 20; 25
		25 (DII)	25	2 4 6 10 16 20 25	10	0,05	1,6	roz brun verde	— Siguranțele tip LF și LS se fabrică pt. mărimile DII... DVH, iar tipurile LFI și LFI-T numai pt. mărimile DII și DIII; — Grad protecție IP200 pt. LS și LF, IP000 pt. LFI.
						0,1		roșu gri	
						0,15		bleu galben	
		63 (DIII)	63	35 50 63		0,2	4	negru alb arâmiu	
		100 (DIVH)	100	80 100		0,35	8	argintiu roșu	
cu mare putere de rupere	MPR 660 V.c.a. 440 V.c.c.	200 (DVH)	200	125 160 200	—		—	galben arâmiu bleu	
		100 315	—	80; 100 125; 160	Conform fig. 4.17.	50	50		
		630	—	200; 250 400					
		1000	—	630 1000					

Notă. Semnificația simbolurilor: L — legături; P — față; S — spate; i — tip industrial; T — pentru tablouri capsulate; f — cu flanșe;  
 $t_{gr}$  — timp de acționare

Tabelul 4.13

Caracteristicile tehnice ale blocurilor de relee termice fabricate în R. S. România

Tip	Cod	Caracteristicile tehnice comune	Tensiune nominală, $U_n$ [V]	Current nominal, $I_n$ [A]	Current serviciu, $I_s$ [A]	Current limită termică, $I_{tl}$ [A]	Gabarit, [mm]
TSA 10	3670	$U_n = 500$ V c.a. $f_c = 15$ con./h $I_r = 1; 2; 3$ A la 500; 380; 220 V c.a. 0,15 A la 220 V c.c. Protecție: IP000	500	10	0,4; 0,55; 0,75; 1; 1,3; 1,8; 2,4; 3,3; 4,5; 6; 8; 11	100	$56,5 \times 54 \times 74$
TSA 32	3672		500	32	0,4; 0,55; 0,75; 1; 1,3; 1,8; 2,4; 3,3; 4,5; 6; 8; 10; 15; 20; 25; 32	320	$68,5 \times 54 \times 83$
TSA 63	3674		500	63	40; 63	630	$96 \times 64,5 \times 100$
TSA W 400	3678		500	400	80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400	6 000	$190 \times 130 \times 155$

Observații. 1. Semnificația simbolurilor:  $f_c$  — frecvența de conectare;  $I_r$  — curentul de rupere

2. Curentul reglat al reletui se determină cu relația:

$$I_{rt} = (0,6 \dots 1) k_p \cdot I_s,$$

în care  $k_p$  este un coeficient de corecție funcție de temperatura avînd valorile date în tabelul 4.14.

a) *Siguranțele fuzibile* au rolul de a întrerupe circuitul în care sînt instalate prin fuziunea unuia sau a mai multor elemente concepute și calibrate în acest scop, cînd curentul care le parcurge depășește o anumită valoare pe o anumită durată; această dependență este indicată prin caracteristica de protecție (topire)  $I_{act} = f(t)$  — tab. 4.13. Practic, siguranțele fuzibile asigură protecția împotriva curenților de scurtcircuit de valori mari.

Din punct de vedere constructiv și al capacității de rupere se deosebesc:

— siguranța cu filet E16 (mignon), avînd capacitate mică de rupere ( $I_r = 350$  A);

— siguranțe cu filet tip D, avînd capacitate medie de rupere ( $I_r = 1,6 \dots 8$  kA);

— siguranțe cu mare capacitate de rupere ( $I_r = 50$  kA).

Siguranțele cu filet sînt executate din porțelan și se compun din soclu, capac filetat (portfuzibil), element de înlocuire (patron fuzibil) și element de calibrare. Tipurile cu filet E16 sînt destinate protecției instalațiilor de automatizare sau similare, iar siguranțele tip D utilizărilor casnice și de uz general (LF, LS) sau industrial (LFi, LFiT).

Siguranțele cu mare putere de rupere (MPR) se compun dintr-un soclu cu două furci de contact, un element de înlocuire cu cuțite și un mîner de manevrare (pentru schimbarea elementului de înlocuire).

Patroanele fuzibile pentru siguranțele de joasă tensiune pot fi cu acțiune lentă (cu întârziere), rapidă (normale) sau ultrarapidă, ultimele utilizîndu-se la protecția dispozitivelor semiconductoare.

b) *Releele termice tripolare* asigură protecția la suprasarcină a receptoarelor electrice. Ele sînt constituite din lamele bimetalice care, dilatăndu-se datorită în urmă încălzirii produse de trecerea unui curent (prin ele sau prin înășurarea care le înconjoară), se încovoie și deschid un contact electric din cuprinsul lor.

În R.S. România se produc relee termice (lente și rapide) avînd caracteristicile tehnice și de protecție date în tabelele 4.13 și 4.14 și figura 4.18.

Tabelul 4.14

Coefficientul de corecție  $k_p$ , funcție de temperatură pentru curentul de serviciu al releelor termice tip TSA

Temperatura mediului, °C	-20	-10	0	+10	+35	+40	+45	+50
Coefficientul de corecție $k_p$	0,87	0,9	0,93	0,96	1,07	1,1	1,13	1,15

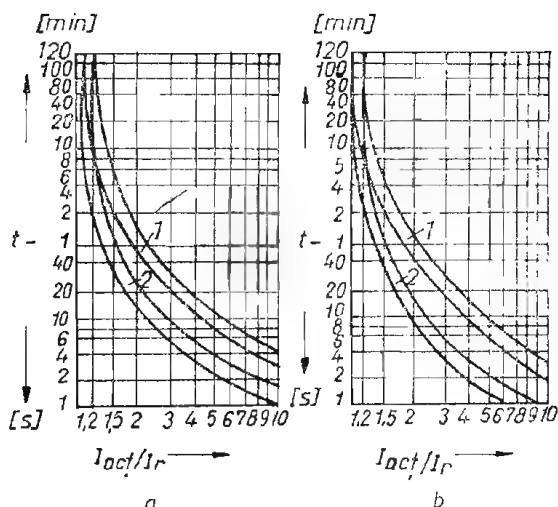
3. *Aparatele de conectare și protecție* realizează stabilirea manuală a circuitelor parcurse de curentul nominal și întreruperea normală sau în caz de defect a acestora, asigurînd deci și protecția receptoarelor în caz de defect. Din această categorie de aparate fac parte contactoarele cu relee și întreruptoarele automate.

a. *Contactoarele cu relee termice* sînt destinate protecției împotriva suprasarcinilor și a lipsei sau scăderii tensiunii de alimentare. Ele constau dintr-un



Fig. 4.18. Caracteristica de protecție a releelor termice:

a — pentru releu de 10 A și 32 A ( $I_g \leq 11,2$  A); b — pentru releu de 32 A ( $I_g > 11$  A) și 63 A;  
1 — din stare rece; 2 — din stare caldă.



contactor și un bloc de rele termice tripolare introduse în carcase metalice sau din material izolan, avînd caracteristicile indicate în tabelul 4.15. Deoarece contactoarele cu releu nu au capacitate de rupere suficientă, protecția la scurtcircuit se realizează cu siguranțe fuzibile legate în serie în amonte (fig. 4.19).

Protecția la tensiune minimă (lipsă de tensiune) este asigurată de electromagnetul de acționare al contactorului, care nu mai reține armătura mobilă dacă tensiunea de alimentare scade sub  $0,7 U_n$ .

b. *Întrerupătoarele automate* asigură protecția împotriva suprasarcinilor, a curenților de scurtcircuit de valori medii și a lipsei sau scăderii tensiunii de alimentare.

Protecția la suprasarcini este asigurată în majoritatea cazurilor prin declanșatoare termice DT constituite din lamele bimetalice, care însă nu acționează în final asupra unui contact electric din cuprinsul lor, ca în cazul

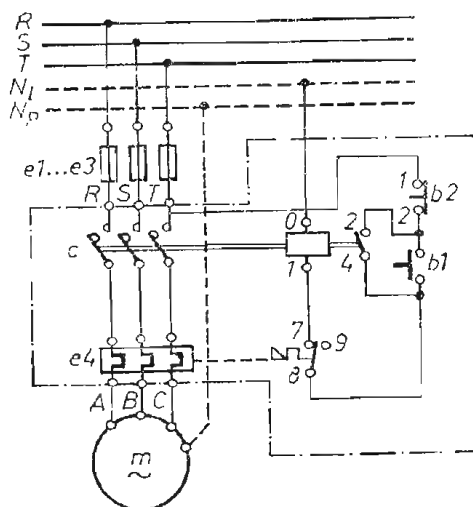


Fig. 4.19. Conectarea la rețea a unui motor electric printr-un contactor cu rele termice:

e1, ..., e3 — siguranțe fuzibile;  
c — contactor; e4 — bloc de rele termice; m — motor trifazat;  
b1 — buton de pornire; b2 — buton de oprire.

Tabelul 4.15

## Caracteristicile tehnice ale contactoarelor în aer, cu relee termice, fabricate în R. S. România

Cod	Caracteristicile tehnice comune	Tipul protecției	Curenți de serviciu ai releelor termice, $I_s$ [A]	Contacte principale			Contacte auxiliare		Gabarit, $L \times l \times h$ [mm]
				Curent nominal, $I_n$ [A]	Curent închidere, $I_d$ [A]	Curent de rupere, $I_r$ [A]	NI/ND	Curent nominal, $I_n$ [A]	
3207	$U_n = 500$ V c.a. $U_e = 24; 48; 120; 220;$ $380; 500$ V c.a. $f = 50$ Hz	IP141	0,4; 0,55; 0,75; 1; 1,3; 1,8; 2,4; 3,3; 4,5; 6; 8; 11.	10	100	80	—	—	80 × 92 × 152
3217A		IP441	15; 20; 25	25	220	176	1/2	6	136 × 137 × 210
3218D		IP441	31,5; 40;	40	370	320	1/2	6	170 × 192 × 263
3226A		IP331	40; 63	63	600	480	1/2	6	280 × 190 × 280
3235		IP443	100	100	640	480	1/2	6	350 × 282 × 520
3243		IP223	100; 160; 200	200	1 600	1 200	1/2	6	398 × 520 × 1 028

Notă. 1. Semnificație simboluri:  $L$  — lungime;  $l$  — înălțime;  $h$  — înălțime.

2. Curenți de închidere și rupere pentru contactele principale sînt dați pentru 20 cicluri.

releelor termice, ci dau direct un impuls mecanic mecanismului de declanșare al întreruptorului automat.

Protecția la scurtcircuit este asigurată de rele sau declanșatoare electromagnetice *DE* cu acțiune instantanee sau temporizată.

Protecția contra scăderii sau lipsei tensiunii de alimentare se face cu rele sau declanșatoare de minimă tensiune *DT<sub>m</sub>* cu acțiune temporizată.

Întreruptoarele automate de tip USOL se utilizează pentru conectarea și protecția motoarelor electrice și a liniilor de joasă tensiune. Aceste aparate se execută cu acționare manuală, cu motor electric de acționare de la distanță (întreruptoarele de 100, 250 și 500 A) sau cu electromagnet de acționare (întreruptorul de 800 A). Schema electrică a unui motor asincron conectat prin întreruptor USOL este prezentată în figura 4.20.

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor automate USOL sînt date în tabelul 4.16, iar caracteristica de protecție pentru întreruptorul USOL 100 — în figura 4.21.

Protecția la suprasarcină și scurtcircuit se realizează cu declanșatoare termice și electromagnetice ale căror limite de reglaj sînt prezentate în tabelul 4.17, iar protecția contra scăderii tensiunii — cu declanșatoare de minimă tensiune cu dispozitiv de temporizare de tip RC tranzistorizat, cu reglaj de 0,2; 0,5; 1 și 1,5 s. Acest declanșator se livrează separat la cerere, putînd fi înlocuit cu un declanșator de deschidere *DD* cu comandă de la distanță.

Întreruptoarele automate de tip OROMAX sînt destinate conectării și protecției liniilor, a motoarelor mari, a generatoarelor și transformatoarelor. Ele se caracterizează prin capacitate mare de închidere și rupere, variante multiple de execuție și posibilitate de utilizare în protecția selectivă a rețelelor. Comanda de închidere — deschidere se face prin intermediul electromagneților de comandă *s<sub>1</sub>* și *s<sub>2</sub>*.

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor automate OROMAX sînt date în tabelul 4.18. Protecția la suprasarcină și scurtcircuit se realizează cu același declanșator, fabricat în două variante — (tab. 4.19, fig. 4.22):

— declanșatorul tip H cu acțiune temporizată la suprasarcină și instantanee la scurtcircuit;

— declanșatorul tip Ksi cu caracteristica de protecție în trei trepte, primele două fiind cu temporizare, iar a treia — instantanee.

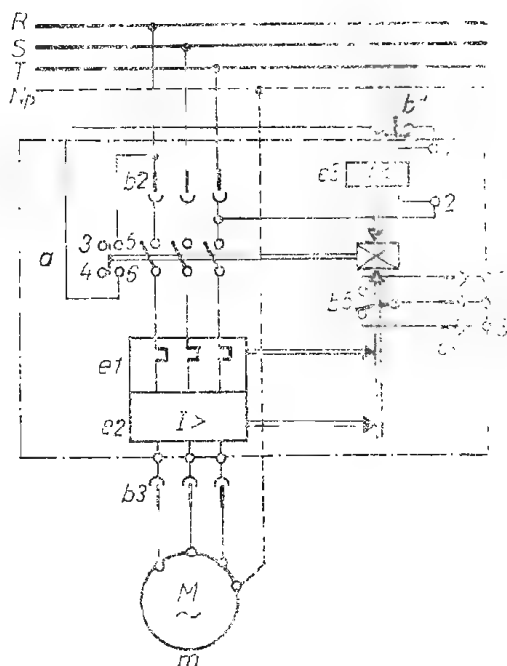


Fig. 4.20. Conectarea la rețea a unui motor electric printr-un întreruptor tip USOL:

*a* — întreruptor automat; *e1* — bloc declanșatoare termice; *e2* — bloc declanșatoare electromagnetice; *e3* — declanșator de tensiune minimă; *b1* — buton de control a funcționării *e3*; *b2*, *b3*, *b4* — prize, cu fișe; *b5* — contact de semnalizare „deschis prin declanșare”.

Caracteristicile tehnice ale intreruptoarelor tip USOL

Tip	USOL 100		USOL 250		USOL 500		USOL 800	
	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.
Caracteristici tehnice comune	$U_n = 500$ V.c.a sau 220 V.c.c; $U_s = 110, 127; 220; 380; 500$ V.c.a sau 24; 48; 110; 220 V.c.c; $f_c = 30$ con/h							
Curenții de serviciu ai declanșatoarelor tehnice $I_s$ [A]	2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80;							
Curentul reglat al declanșatorului termic $I_{tr}$ (la 45°C)	$(0,8 \div 1) I_s$							
Curentul de serviciu $I_s$ [A]	2,5—12,5	16—20	25	32—100	2,5—12,5	16—20	25	32—100
	5	7	8,5	14	5	10	10	12
Curent de închidere $I_z$ [kA]	3/4 4/7 5/7 8/9 5 10 10 10							
Curent de rupere $I_r$ [kA]	3/4 4/7 5/7 8/9 5 10 10 10							
Durata de rupere $t_r$ [ms]	10							
Capacitatea de rupere la c manevră	10							
Limitele de reglaj ale declanșatoarelor electromagnetice $I_{re}$ [A]	fixe 10 $I_s$	fixe 10 $I_s$	fixe 10 $I_s$	fixe 4 $I_s$	Reglabile $(2 \div 4) I_s$ $(5 \div 10) I_s$	Reglabile $(2 \div 4) I_s$ $(5 \div 10) I_s$	Reglabile $(2 \div 4) I_s$ $(5 \div 10) I_s$	Reglabile $(2 \div 4) I_s$ $(5 \div 10) I_s$
Curentul limită termic $I_{tr}$ [kA] la $t_{tr} = 1$ s;	1							
Curent limită dinamic $I_{da}$ [kA]	5(2,5—12,5 A), 7(16—20 A); 8,5(25 A), 14(32—100 A)							
Contacte auxiliare NI/ND	1/1							

Notă.  $U_s$  este tensiunea de serviciu a bobinelor de tensiune nulă și declanșare.

Declanșatoarele electromagnetice reglabile între  $(2 \div 4) I_s$  și  $4 I_s$  sînt pentru protecția liniilor, iar între  $(5 \div 10) I_s$  pentru protecția motoarelor în curent alternativ.

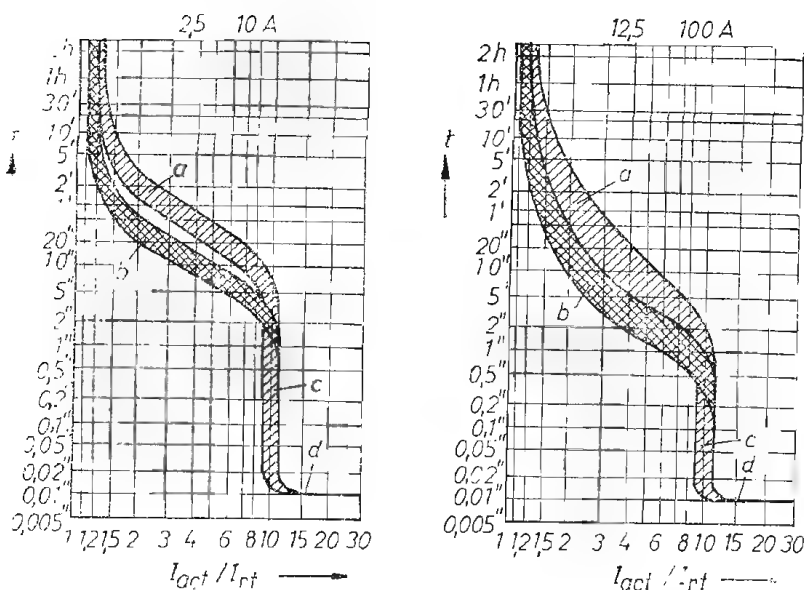


Fig. 4.21. Caracteristicile de protecție ale declanșatoarelor intreruptoarelor automate USOL 100 pentru curenți de serviciu de 2,5-10 A, respectiv 12,5-100 A:

$a$  - funcționare din stare rece a declanșatoarelor termice;  $b$  - funcționare din stare caldă a declanșatoarelor termice;  $c$  - declanșare la 10% prin declanșatoare electromagnetice;  $d$  - declanșare la scurtcircuit.

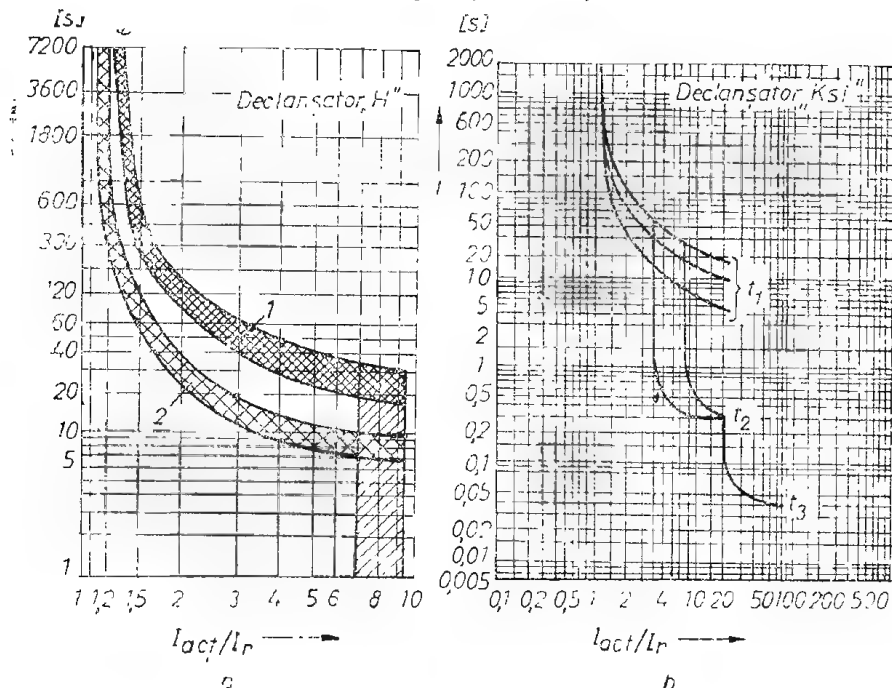


Fig. 4.22. Caracteristicile de protecție ale declanșatoarelor la intreruptoarele OROMAX:

$a$  - declanșator H;  $b$  - declanșator Ksi; 1 - din stare rece; 2 - din stare caldă;  $t_1$  - temporizare lungă (10 ... 30 s);  $t_2$  - temporizare scurtă (0,3 s);  $t_3$  - instantaneu.

Limite de reglaj ale declanșatoarelor la întreruptoarele tip USOL

Tipul declanșatoarelor termice	Limite de reglaj ale declanșatoarelor termice în funcție de temperatura ambiantă																Declanșare electromagnetică $I_{re}$ [A]
	$I_{re}$ [A]																
	10 °C		20 °C		30 °C		40 °C		45 °C		50 °C		60 °C				
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.			
R2,5	2,7	3,2	2,5	3	2,2	2,7	2,1	2,6	2	2,5	1,9	2,4	1,5	2	25		
R3,2	3,2	4,3	3	4	2,7	3,5	2,6	3,4	2,5	3,2	2,4	3	2	2,6	32		
R4	4,3	5,4	4	5	3,5	4,5	3,4	4,2	3,2	4	3	3,5	2,6	3,3	40		
R5	5,4	6,4	5	6	4,5	5,5	4,2	5,2	4	5	3,5	4,5	3,3	4,2	50		
R6,3	6,4	7,9	6	7,5	5,5	7	5,2	6,5	5	6,3	4,5	6	4,2	5,5	65		
R8	7,9	10,1	7,5	9,5	7	9	6,5	8,5	6,3	8	6	7,5	5,5	6,5	80		
R10	10,1	13,4	9,5	12,5	9	11,5	8,5	10,5	8	10	7,5	9,5	6,5	8,5	100		
R12,5	13,4	16,6	12,5	15,5	11,5	14	10,5	13	10	12,5	9,5	12	8,5	11	125		
R16	16,6	20,3	15,5	19	14	18	13	17	12,5	16	12	15	11	13	160		
R20	20,3	26	19	24	18	22	17	21	16	20	15	19	13	17	200		
R25	26	30,5	24	29	22	28	21	26	20	25	19	24	17	21	250		
R32	30,5	39	29	37	28	35	26	33	25	32	24	31	21	27	320		
R40	39	47	37	45	35	43	33	41	32	40	31	39	27	35	400		
R50	47	57	45	55	43	53	41	51	40	50	39	49	35	45	500		
R63	47	75	55	72	53	69	51	66	50	63	49	61	45	58	630		
R80	75	94	72	90	69	86	66	83	63	80	61	78	58	72	800		
R100	94	118	90	113	86	108	83	103	80	100	78	97	72	92	1 000		

a)

Tabelul 4.17 (continuare)

b)

USOL, 250	Tipul declanșatoarelor termice	Domeniul de reglaj al declanșatoarelor termice în funcție de temperatura ambiantă				Declanșatoare electromagnetice	
		$I_{rt}$ [A]				$I_{re}$ [A]	
		20°		45°		c.a.	c.c.
		min.	max.	min.	max.		
	R100	100	125	80	100	1 000	500
	R125	125	160	100	125	1 250	500
	R160	160	200	125	160	1 600	640
	R200	200	250	160	200	2 000	800
	R250	250	300	200	250	2 500	1 000

c)

USOL, 500	Tipul declanșatorului termic	Domeniul de reglaj al declanșatoarelor termice, în funcție de temperatura ambiantă				Declanșatoare electromagnetice			
		$I_{rt}$ [A]				$I_{re}$ [A]			
		20 °C		45 °C		Curent alternativ		Curent continuu	
		min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
	R100	95	120	80	100	500	1 000	400	800
	R125	120	145	100	125	625	1 250	400	800
	R160	145	185	125	160	800	1 600	400	800
	R200	185	225	160	200	1 000	2 000	400	800
	R250	250	280	200	250	1 250	2 500	500	1 000
	R320	280	370	250	320	1 600	3 200	640	1 280
	R400	370	470	320	400	2 000	4 000	800	1 600
	R500	470	580	400	500	2 500	5 000	1 000	2 000

d)

USOL, 800	Tipul declanșatorului termic	Domeniul de reglaj al declanșatoarelor termice în funcție de temperatura ambiantă.				Declanșatoare electromagnetice	
		$I_{rt}$ [A]				$I_{re}$ [A]	
		20 °C		45 °C		Curent alternativ	Curent continuu
		min.	max.	min.	max.	min.-max.	max.
	R400	370	465	320	400	2000-4000	800-1600
	R500	465	580	400	500	2500-5000	1000-2000
	R580	580	680	500	580	2900-5800	1160-2320
	R700	680	830	580	700	3500-7000	1400-2800
	R800	830	950	700	800	4000-8000	1600-3200

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor tip OROMAX

Tip		1 000 A	1 600 A	2 000 A	2 500 A	4 000 A
Caracteristici tehnice						
Tensiune nominală $U_n$ [V]		500				
Curent nominal $I_n$ [A]		1 000	1 600	2 000	2 500	4 000
Tensiuni de serviciu $U_s$ [V]	Motor	220 c.a. sau c.c.				
	Electromagnet închidere EI	110; 127; 220; 380 Vc.a.				
	Electromagnet deschidere ED	24; 48; 60; 110; 220 Vc.c.				
	Declanșator de tensiune minimă $DT_m$	110; 127; 220; 380; 500 c.a.				
Frecvența de conectare $f_c$ [con/h]		30				
Capacitatea de închidere și rupere la 3 manevre	Curent de închidere $I_i$ [kA]	125	125	130	130	135
	Curent de rupere $I_r$ [kA]	50	50	52	52	55
	Durata de rupere $t_r$	conf. fig. 4.22 și tab. 4.19				
Curent limită dinamic $I_{ld}$ [kA]		125	125	130	130	135
Curent limită termic $I_{lt}$ la $t_{lt} = 1$ s [kA]		55	55	57	47	60
Contacte auxiliare NI/ND		5/5				

Tabelul 4.19

Domeniul de reglaj și declanșatoarelor la întreruptoarele OROMAX

Tip		Declanșator H			Declanșator $K_{st}$			
		Curentul de serviciu $I_s$ [A]	Domeniul de reglaj $I_{rt}$	Curentul de declanșare instantanee $I_{re}$ [A]	Curentul de serviciu $I_s$ [A]	Domeniul de reglaj treapta I, $I_{rt}$	Domeniul de reglaj treapta II, $I_{re}$	Temporizare fixă [s]
P <sub>1</sub> C	300							
	1 000	600		8 $I_s$	600		$(4 \div 12) I_s$	
		1 000	$I_{rt} \dots (0,5 \div \div 1) I_s$		1 000	$I_{rt} (0,5 \div \div 1) I_{st}$		0,3
	1 600	1 600		7 $I_s$	1 600		$(4 \div 10) I_s$	
	2 000	2 000			2 000			
	2 500	2 500		6 $I_s$	2 500		$(3 \div 6) I_s$	
	4 000	4 000			4 000			



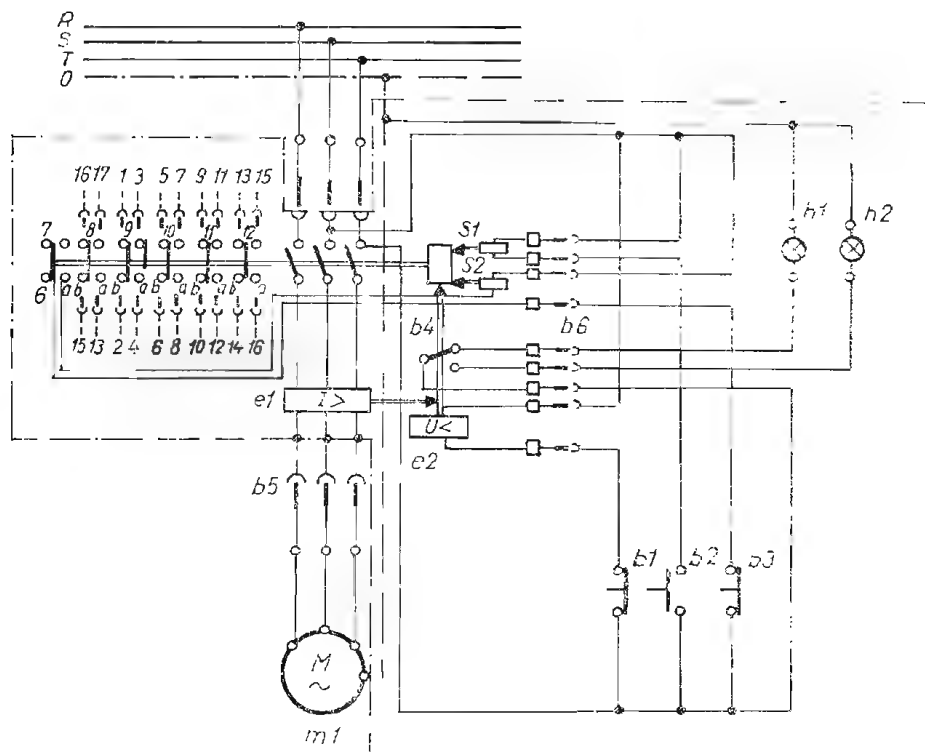


Fig. 4.23. Conectarea la rețea a unui motor electric printr-un întrerupător automat tip OROMAX:

*a* — întrerupător automat; *e1* — bloc declanșatoare; *e2* — declanșator de tensiune minimă; *s1* — electromagnet de închidere; *s2* — electromagnet de deschidere; *b1* — buton de control a funcționării *e2*; *b2* — buton de pornire; *b3* — buton de oprire; *b4* — contact de semnalizare „de-chi” prin declanșare; *b5*, *b6* — prize cu fișe.

Schema electrică a alimentării unui motor asincron prin întrerupător automat tip OROMAX este prezentată în figura 4.23.

Utilizarea întreruptoarelor automate se evită pe cât posibil din cauză că ele prezintă următoarele neajunsuri:

- au un cost mare;
- conduc la secțiuni mari ale conductelor electrice;
- nu asigură selectivitatea la curenți de scurtcircuit.

c. *Întreruptoarele automate monopolare* se utilizează pentru protecția la suprasarcină și scurtcircuit a instalațiilor casnice și industriale cu curenți nominale sub 25 A (au acțiune similară cu siguranțele automate). Caracteristicile tehnice și de protecție ale întreruptoarelor automate monopolare produse în țară sînt date în tabelul 4.20 și figura 4.24.

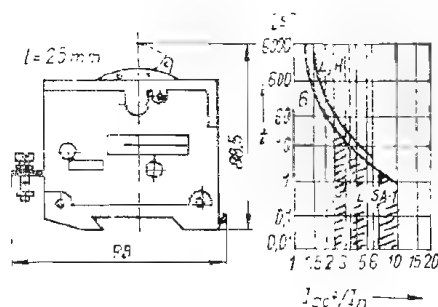


Fig. 4.24. Construcția și caracteristicile de declanșare ale întreruptorului automat monopolar (hașurat — zona de declanșare a releelor electromagnetice)

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor automate monopolare fabricate în M. S. România

Tip	Cod	Caracteristici tehnice comune	Curent de serviciu, $I_s$ [A]	Gabarit, [mm]	Utilizare
L	3120	$U_n = 380$ V c.a. $I_n = 25$ A $f_c = 30$ con/h $I_r = 1500$ A Protecție: IP000	6; 10; 16; 25	$25 \times 98 \times 70,5$	Iluminat
H	3120		10; 16; 25		Circuite de prize
SA 1(G)	3121		0,5; 1; 1,6; 2; 3; 4; 6; 10; 16; 25		Circuite industriale de comandă și forță (în afara electromotoarelor)

Întreruptoarele de curent continuu monopolare se utilizează pentru conectarea și protecția motoarelor electrice de curent continuu folosite în tracțiune. Se execută numai cu acționare manuală și sînt echipate cu relee electromagnetice care asigură protecția la suprasarcină și scurtcircuit. Caracteristicile tehnice ale acestor aparate sînt prezentate în tabelul 4.21.

4. *Aparatele pentru pornirea motoarelor electrice* asigură reducerea curentului de pornire al acestora. Se clasifică în următoarele categorii:

— comutatoare stea-triunghi CST, cu conectare manuală ( $U_n = 500$  V,  $I_n = 32$  și  $63$  A în aer sau  $I_n = 100$  și  $200$  A în ulei) sau prin electromagnet ( $U_n = 380$  V,  $I_n = 8 \dots 160$  A);

— autotransformatoare de pornire normale tip ATP<sub>1</sub> ( $U_n = 0,22 \dots 0,5$  kV;  $S = 85$  sau  $130$  kVA), cu siguranță mărită (tip TPS,  $U_n = 0,38 \dots$

Tabelul 4.21

Caracteristicile tehnice ale întreruptoarelor automate monopolare de curent continuu tip AV2

Caracteristici tehnice		Cod	
		5505	5506
Tensiune nominală $U_n$ [V]		750	
Curent nominal $I_n$ [A]		200	
Capacitate de închidere și rupere	Frecvența de conectare $f_c$ , cicluri	3	50
	Curent de închidere $I_k$ [A]	1 200	500
	Curent de rupere $I_r$ [A]	1 200	500
Tipul de protecție		IP301	
Curentul de serviciu al releului electromagnetic $I_s$ [A]		100	200

**Observații.** 1. Varianta de 100 A se reglează între 150 și 300 A.

2. Varianta de 200 A se reglează între 350 și 600 A.

3. Curentul minim de întrerupere este 10 A pentru 100 A și de 20 A pentru 200 A.

... 6 kV,  $S = 320 \dots 2500$  kVA) sau cu comandă de la distanță — cu comutare automată (tip TPD,  $U_n = 6$  kV,  $S = 580 \dots 2500$  kVA);

— reostate de pornire pentru motoare de curent alternativ (în aer tip RA, în ulei tip RC, RA, EA, RPUM, RPUC, RPUD și în lichid tip RPLD, RRLCD, RRLUD) sau continuu (tip RP și RZP).

5. *Aparatele de semnalizare* au rolul de a indica acustic sau optic situațiile normale sau anormale de funcționare ale instalației supravegheate.

Releele de semnalizare sesizează apariția (tipul Rds—2) sau dispariția (tipul Rds—3) mărimii controlate, care poate fi tensiunea sau curentul continuu.

Lămpile de semnalizare, incluse în casete de semnalizare tip CST, se montează pe panouri și pupitre de comandă. Se execută în diverse variante constructive și utilizează lămpi cu filet Edison sau baionetă, alimentate la tensiunea rețelei (220 V) sau la tensiune redusă (24 V).

Hupee și sirenele de semnalizare se utilizează pentru semnalizarea acustică a diferitelor stări de avarii și se fabrică în mai multe tipuri constructive: hupe sau claxoane, sirene și clopote.

6. *Aparatele de măsură* și accesoriile folosite în instalațiile electrice de joasă tensiune sînt:

- ampermetre (AE) și voltmetre (VE) electromagnetice;
- comutatoare voltmetrice (CV);
- wattmetre (W) și varmetre (Var) ferodinamice (tip D3);
- contoare de energie activă (trifazate tip CA—32, CA—43; monofazate tip CAM—6) și reactivă (tip CR—32);
- transformatoare de curent CIRS și CIRT avînd curentul nominal primar  $20 \div 6\,000$  A;
- transformatoare de tensiune tip TIRB, avînd tensiunea nominală primară  $0,38 \div 1$  kV.

### 4.5.3. TABLOURI DE DISTRIBUȚIE

Tablourile de distribuție sînt părți componente ale instalațiilor electrice care servesc concomitent la primirea și apoi distribuția energiei electrice la diferiți consumatori. În componența lor intră materiale electrice care asigură funcțiile de izolare, legătură electrică și aparatele electrice prin care se realizează funcțiile de conectare, comandă, protecție, măsură și semnalizare. Această concentrare permite exploatarea în bune condiții a instalației respective, realizarea unor gabarite reduse și amplasarea centralizată a punctelor de alimentare.

Tablourile de distribuție sînt alcătuite din mai multe unități funcționale (după numărul și importanța consumatorilor din aval) care pot fi de:

- sosire, dacă servesc pentru primirea energiei electrice;
- plecare, dacă servesc pentru distribuția energiei electrice la receptoare sau alte tablouri;
- cuplă, dacă servesc la legătura electrică dintre secțiunile de bare colectoare pe care le poate avea tabloul respectiv (obișnuit la curenți peste 200 A) sau la legarea în buclă a mai multor tablouri de distribuție.

Alegerea tablourilor de distribuție se face în funcție de tipul schemei electrice pe care o realizează, caracteristicile electrice (tensiune, curent, frecvență, regim de exploatare) și mecanice (protecție, încălzirea maxim

admisă, rezistență la scurtcircuit) precum și alte considerații generale (dimensiuni de gabarit și greutate, tip constructiv, aspect exterior, mod de instalare etc).

Protecția tablourilor de distribuție cuprinde totalitatea condițiilor necesare pentru a asigura protecția persoanelor contra atingerii părților interioare aflate sub tensiune și protecția echipamentului contra pătrunderii corpurilor străine sau apei (tab. 4.9), protecția contra acțiunii factorilor climatici (tab. 4.22) și protecția mediului înconjurător cu amestecuri explozive sau grizutoase contra aprinderii de la scânteele produse în interiorul tablourilor.

Tabelul 4.22

Tipurile și categoriile de protecție climatică

Factori climatici		Tipuri de protecție*				
		TF	THA	TH	TA	F
Temperatura aerului	maximă, °C	+55	+55	+45	+55	+35
	minimă, °C	-55	-10	+3	-10	-55
	medie, °C	+27	+27	+27	+27	+20
	variație în 8 h, °C	40	40	10	40	40
Umiditatea relativă	maximă, %/°C	80/35	80/35	80/35	80/20	80/20
	minimă, %/°C	10/40	10/40	25/40	10/40	15/30
Presiunea atmosferică	maximă, tor/°C	35/40	35/35	35/35	14/20	14/20
	minimă, tor/°C	5/50	5/40	14/40	5/40	5/30
Densitatea maximă a radiației solare, cal/cm <sup>2</sup> · min		1,6	1,6	1,4	1,6	1,6
Factori suplimentari**	Rouă	t	t	t	p	a
	Aer salin	p	p	p	p	a
	Praf, nisip	t	t	a	t	a
	Brumă, îngheț, chiciură	t	n	n	n	t
	Mucegaiuri, bacterii	t	t	t	a	n
	Insecte, animale mici	t	t	t	p	n
Categoriile de construcție pentru fiecare tip de protecție climatică, funcție de locul de amplasare		Categorie I în aer liber				
		Categorie a II-a în spații exterioare acoperite, gen șopron				
		Categorie a III-a în interior				

**Notă.** \* Pentru simbolizarea tipului de protecție se folosesc literele: T — tropicus—cald, tropical; A — aridus—uscat; II — humidus—umed; F — frigidus—frig. Ca urmare semnificația simbolurilor tipurilor de protecție menționate în capul tabelului este: TF — protecția contra acțiunii factorilor climatici din zonele cald-umed, cald-uscat și rece; THA — idem din zonele cald-umed și cald-uscat; TA — idem din zone cald-uscat; F — idem din zone reci.

\*\* Semnificația prescurtărilor: t — tot timpul, permanent; p — periodic; a — accidental; n — de neput în seamă.

Din punct de vedere al rolului funcțional, tablourile de distribuție pot fi generale, principale și secundare, iar constructiv întâlnim tablouri deschise, închise, capsulate și antigrizutoase (antiexplozive). Caracteristicile tablourilor de distribuție fabricate în țară sînt date în lucrările [12, 23, 24].

1. *Tablourile de distribuție deschise* sînt fără protecție (IP 00) sau cel mult cu grad de protecție IP 10.

Din această categorie fac parte:

a. *Tablouri pe plăci izolante de marmură, STALMAR, textolit sau pertinax, în execuție neprotejată.*

b. *Tablouri pe plăci sau cadre metalice independente, la care aparatele și materialele componente se montează pe suporturi plane din tablă de oțel ( $g = 1 \dots 3$  mm) sau pe structuri confecționate din profile laminate sau din tablă ambutisată. Din această categorie fac parte tablourile STELBLOC fabricate de TIAB, formate din cadre metalice pe care se fixează cu șuruburi plăcile echipate cu blocuri funcționale tipizate (tab. 4.23). În figura 4.25 se exemplifică realizarea unui tablou de distribuție cu elemente STELBLOC.*

Tabelul 4.23

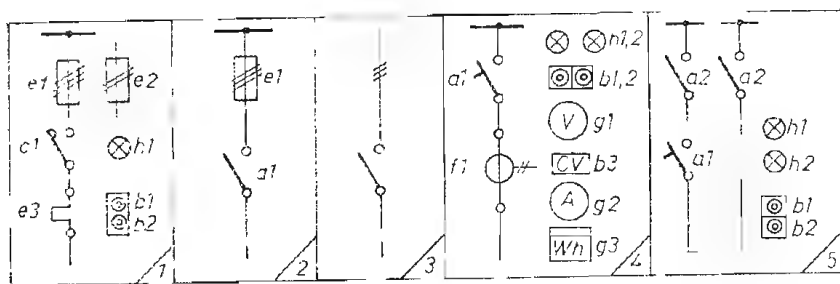
Tablouri de distribuție STELBLOC-TIAB

a)

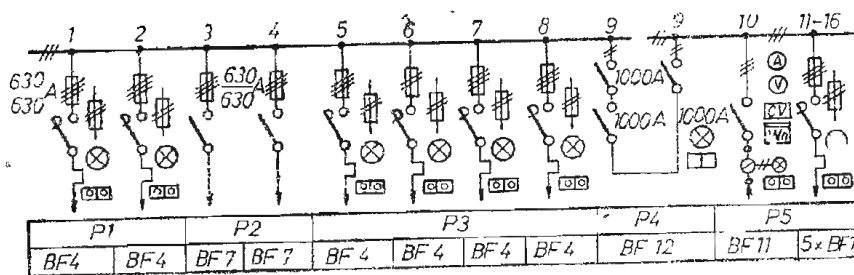
Stelaș	Tip	I		II		III		IV		V
	$a \times b$ mm	440 × 1080		640 × 1980		840 × 1980		1040 × 1980		1240 × 1980
Plăci funcționale	Tip	A	B	C	E	F	H	I	J	K
	$a \times b$ mm	200 × 250	400 500	400 × 750	600 × 500	600 × 750	1000 × 500	1000 × 750	1000 × 1000	1000 × 1000
Cutie bare $a \times b$ c, mm		400 × 200 410	640 × 200 410		840 × 200 410		1040 × 200 410		1240 × 200 410	

b)

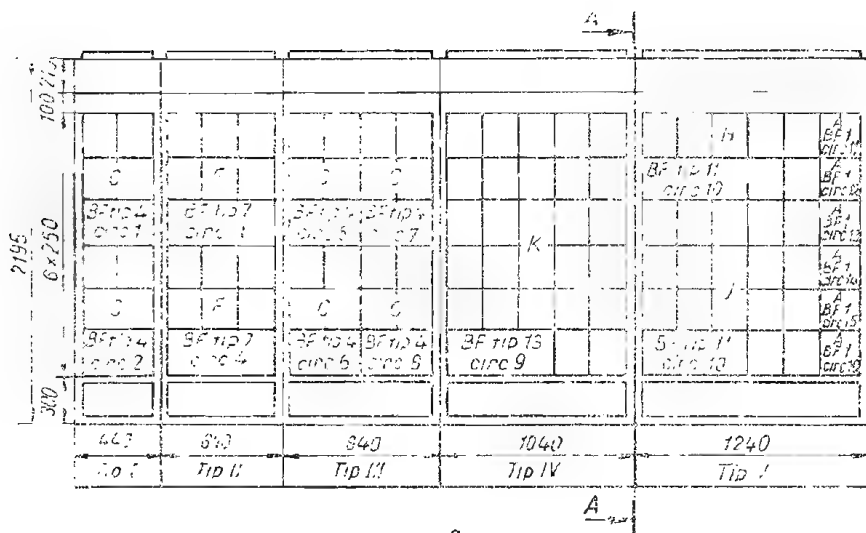
Tip Schema Placă	Aparate electrice din compunerea unităților funcționale (se citește împreună cu fig. 4.25, a/1 ÷ 5).
1.1.A	e1 - LF25 - e2 - LFm25 e3 - TSA10 + c1 - TCA10 + h1 cod 6405 + b1, b2 - 31'6
2.1.B	e1 - LF25 + 63 sau LFI100 + e3 TSA32 + c1 TCA32 + rest - v. tip 1
3.1.C	e1 - MPR315 + e3 - TSA63 sau TSAw400 + c1 - TCA40 + 125 - rest v. tip 1
4.1.C	e1 - MPR630 + e3 - TSAw400 + c1 - TCA125 + 200 + rest v. tip 1
5.2.A	e1 - LF25 + 63 - P3 - 25 + 63
6.2.B	e1 - LFI100 - IP3 - 100
7.2.F	e1 - MPR315 + a1 - IP3 - 200 + 350
8.2.F	e1 - MPR630 + a1 - IP3 - 600 + 1000
9.3.E	e1 - IP3 - 350 + 1000
10.4. H + I	a1 - USOL 250 + 800 + f1 - CIO,5 + g1 - 3E5 + g2 E5 + b1, b2 - BF6 + h1, h2 - cod
11.4. H - J	a1 - OZOMAX - 1000 + rest v. tip 10
12.5.J	a1 - USOL 500 + 800 + a2 - IP3 - 350 + b1, b1, h1, h2 - v. tip 10
13.5.K	a1 - OZOMAX 1000 + a2 - IP3 - 600 + 1000 + rest - v. tip 12



a



b



c

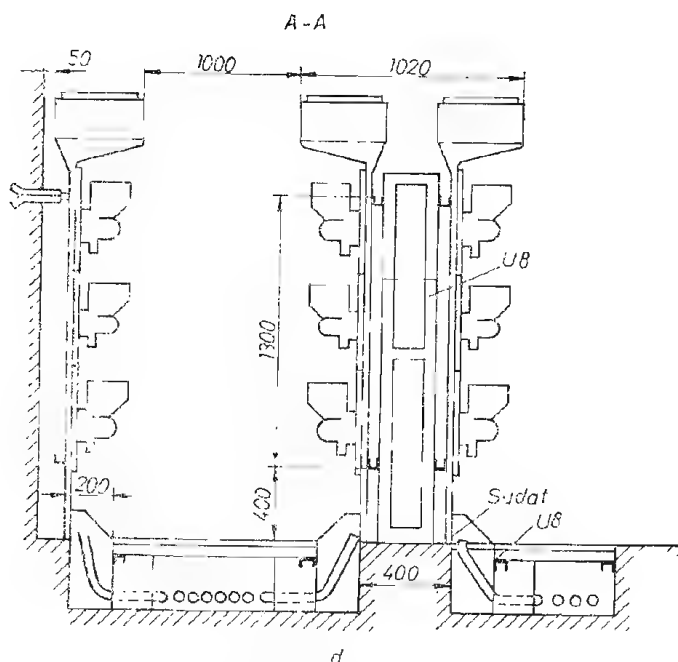


Fig. 4.25. Schema panourilor STELBLOC:

a - blocurile funcționale; b - exemplu de schemă pentru un F7D; c, d - construcție.

c. *Tablouri tip panou*, alcătuite din mai multe celule denumite panouri, fiecare fiind formată din șasiul pe care se fixează suporturile cu aparate, conductoare și o placă din tablă de oțel, pe partea din față, care susține aparatele de acționare, măsură și semnalizare.

Obişnuit, panourile nu au pereți (cu excepția plăcii frontale), ci cel mult ceramă de protecție din plasă sau tablă expandată; panourile de capăt sînt prevăzute însă cu fața laterală dinspre exteriorul tabloului asamblat. Accesul în tablou poate fi prin spate sau față, în funcție de spațiul disponibil.

Construcția și echiparea panourilor este în general tipizată și se realizează la I.I.S. Automatica București sau I.T.P.E. Alexandria (este tipizată numai construcția metalică, echiparea făcîndu-se după schemele date de beneficiar), Întreprinderea de construcții metalice și aparataje (ICMA) și TIAB București.

La TIAB s-a realizat un tip de panou prefabricat cu bare mediane (PREBARMED), la care barele generale de distribuție se află la mijlocul panourilor, obținîndu-se în acest fel dimensiuni reduse, la un număr sporit de circuite.

Panourile sînt realizate cu uși față rabatabile pe care se montează aparatele de măsură, iar în spate și între panouri cu pereți despărțitori din tablă expandată. Dimensiunile constructive și schemele tipizate ale panourilor PREBARMED sînt prezentate în [23, 24].

2. *Tablourile de distribuție închise* au gradele de protecție IP20, IP23, IP30 sau IP33 și se pot utiliza atât în încăperi anume destinate, cât și în spații de producție, cu condiția ca mediul respectiv să fie lipsit de agenți corozivi sau de pericol de explozie și să aibă temperatura de  $15 \div 20^\circ\text{C}$ , iar umiditatea relativă maximă de 65%.

Din această categorie fac parte:

- Tablouri pe plăci izolante închise în nișe, cutii, dulapuri sau pupitre;*
- Tablouri pe plăci sau cadre metalice închise în dulapuri sau nișe;*
- Blocuri electrice de apartament, care sînt tablouri deschise pe suporturi de marmură, masă plastică termorigidă sau tablă, dar cu elementele de tablou protejate;*

d. *Tablouri tip dulap*, realizate din una sau mai multe celule denumite dulapuri, destinate instalațiilor electrice de distribuție cu curenți nominali pînă la 1000 A. Astfel de tablouri se fabrică la I.I.S. Automatica (tab. 4.24),

Tabelul 4.24

### Dulapuri metalice AUTOMATICA

Tip					L [mm]			
A [mm]		Nr. variantă			A [mm]		Nr. variantă	
1		2			1		2	
D7	700	800	—	—	D21	800	900	1 000
850	1	4	—	—	600	—	47	52
950	2	5	—	—	800	45	49	54
1 050	3	6	—	—	900	46	50	55
					1 000	—	51	56
D8; 9	800	900	1 000	—	D21	900	1 000	1 000
850	1	4	7	—	800	61	64	67
950	2	5	8	—	900	62	65	68
1 050	3	6	9	—	1 000	63	66	69
D21	450	600	800	900	D21	800	900	1 000
500	—	6	11	15	900	77	80	83
600	1	7	12	16	1 200	78	81	84
800	3	—	14	18	D21	800	900	—
900	4	—	—	19	800	93	95	—
1 000	5	—	—	—	900	—	96	—
D22	450	800	900	—	D22	600	800	900
500	—	7	11	—	500	21	25	29
600	—	8	12	—	600	22	26	30
800	1	10	14	—	800	—	28	32
900	2	—	15	—	900	—	—	33
Exemplu de notare: D22-8								



Dulapuri metalice ICMA-București

Tip	Față	Support izolator	Montaj	L [mm]	H [mm]	A [mm]
A	a, b	d, s	u, i, c	600; 700; 800; 900	1250; 1500; 1750; 1920	400; 600
B	a, b	d, s	u, i, c	600; 700; 800; 900	1250; 1500; 1750; 1920	400; 600
C	a, b	d, s	u, i, c	1200; 1400	1750; 1920	400; 600

Notă. 1. Simbolizare: A — dulap cu o ușă; B — dulap cu două uși, pe verticală; C — idem pe orizontală; a — fără ștraif; b — cu ștraif; d — fără suport izolator; s — cu suport izolator; u — singular; i — intermediar; c — de capăt.  
2. Pentru construcție — v. fig. 4.23, b. Se livrează cu soclu de 100 mm.

ICMA (tab. 4.25, fig. 4.26) și TIAB (dulapuri de joasă tensiune c.a. STANDARDBLOC în 6 variante, dulapuri de c.c. pentru 24 V — UNIDISCO-24 sau 220 V — UNIDISCO-240 și dulapuri pentru condensatoare UNIVAR în 3 variante);

e. *Tablouri debroșabile*, alcătuite din unul sau mai multe panouri modulate organizate pe sertare debroșabile; această soluție are avantajul unui gabarit redus, prezintă o siguranță mărită în exploatare și simplifică mult lucrările de montaj și exploatare. TIAB produce tablouri tip SERTAROBLOC formate din sertare de distribuție echipate cu contactoare, blocuri de relee termice și siguranțe fuzibile unipolare cu filet sau cu mare putere de rupere. Sertarele sunt prevăzute cu butoane de comandă, lămpi de semnalizare și siguranțe fuzibile tip mignon în circuitele de comandă. Fiecare panou are opt module; sosirile se echipează într-un compartiment tip C din patru module sau într-un panou întreg tip D, iar plecările —

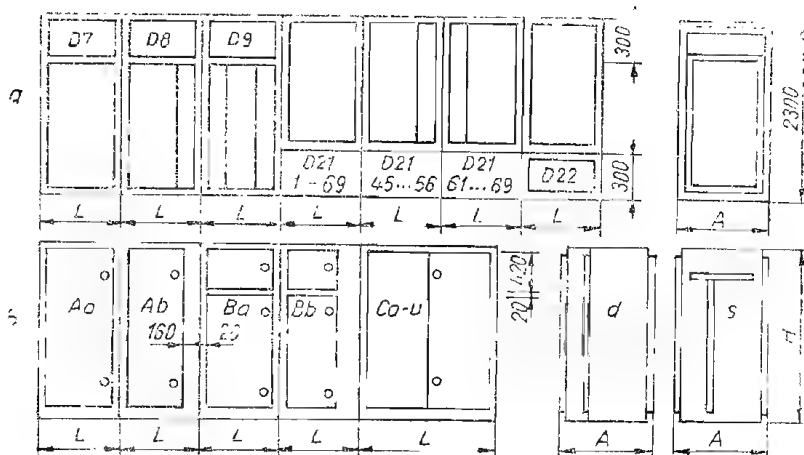


Fig. 4.26. Dulapuri metalice pentru tablouri electrice:

a — construcție AUTOMATICA; b — construcție ICMA.

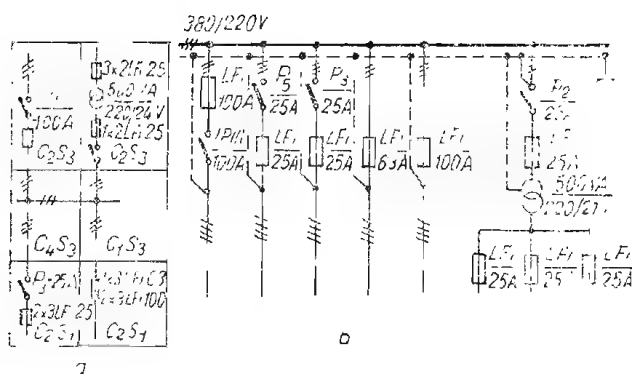


Fig. 4.27. Exemplu de asamblare a cutiilor capsulate Electroaparataj în cadrul unui tablou de distribuție:

a - schița tabloului; b - schema electrică monofilară a tabloului.

în sertare tip A construite pe dimensiunile modului sau în sertare tip B, construite pe dimensiunile a două module.

f. *Tablourile capsulate* au gradele de protecție IP40, IP41, IP43, IP44, IP50, IP53, IP54, IP55, IP60 sau IP65 și se utilizează în medii uscate dar cu praf sau particule în suspensie (IP40, IP50, IP60) sau în medii umede (celelalte grade de protecție menționate).

Acceste tablouri se obțin prin asamblarea unor cutii capsulate care conțin materialele și aparatele electrice necesare și care sînt rigidizate între ele cu sau fără cadru de fixare, legăturile electrice între cutiile vecine făcîndu-se prin deschideri practicate pe ieșele comune (eventual cu ajutorul unor piese sau cutii intermediare). Cutiile capsulate sînt tipizate pe mărimi și conținut și se conecționează prin turnare (din fontă sau aluminiu), presare (din mase plastice) sau prin sudare (din tablă OL 38). În tipizările curente, fiecare cutie are o destinație unică (bare, întrerupătoare, siguranțe etc.).

În R.S. România tipurile uzuale de cutii capsulate tipizate sînt de construcție Electroaparataj, ICMA, TIAB (fig. 4.27, 4.28, 4.29; tab. 4.26).

Tablourile antigrizuroase și antiexplozive sînt alcătuite din cutii capsulate de construcție specială capabile să asigure protecția în mediile cu pericol deosebit în care lucrează. Aceste tipuri nu sînt în producție curentă în țara noastră.

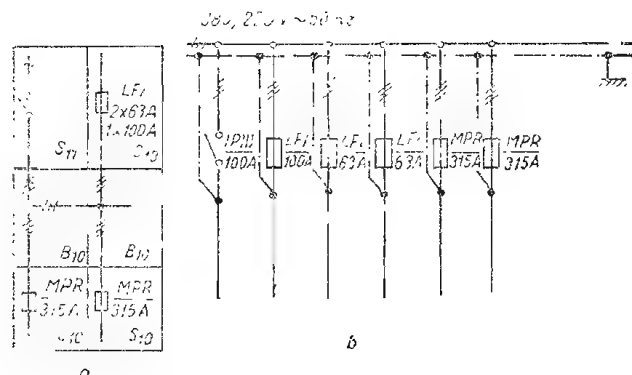


Fig. 4.28. Exemplu de asamblare a cutiilor capsulate ICMA în cadrul unui tablou de distribuție:

a - schița tabloului; b - schema electrică monofilară a tabloului.



## 4.6. CURENTUL CERUT

În timp ce puterile cerute stau la baza alegerii echipamentelor cu rol de transformare a energiei electrice ca transformatoare, convertizoare, mutatoare ș.a., determinarea curentului cerut de un consumator de calcul este necesară pentru dimensionarea conductoarelor, alegerea aparatelor de protecție, comutație, măsură și a tablourilor de distribuție.

Curentul cerut  $I_c$  de un consumator de calcul poate fi determinat după cum urmează:

— pe baza puterii cerute  $P_c$  (sau  $S_c$ ), care a fost obținută printr-una din metodele expuse în subcapitolul 1.4;

— prin metoda coeficienților curentului cerut, în care intervin numai puterile nominale ale receptoarelor.

a) Curentul cerut se obține pe baza puterii active cerute  $P_c$  cu relația

$$I_c = \frac{P_c}{C_P U}, \quad (4.1)$$

iar pe baza puterii aparente cerute  $S_c$

$$I_c = \frac{S_c}{C_S U}; \quad (4.2)$$

în aceste relații:  $U$  este tensiunea de linie, atât pentru receptoare trifazate (tensiunea între două faze), cât și pentru receptoare monofazate sau de curent continuu (tensiunea între conductoare);

$P_c$ ,  $S_c$  — puterile activă, respectiv reactivă cerute de receptoare identice sau care fac parte din aceeași categorie din punct de vedere al valorilor coeficientului de cerere și a factorului de putere cerut;

$C_P$ ,  $C_S$  — coeficienți cu valori sau expresii precizate în tabelul 4.27, în funcție de numărul receptoarelor pentru care se calculează curentul cerut, semnificația puterii cerute și felul alimentării.

Tabelul 4.27

Coeficienții  $C_P$  și  $C_S$  pentru determinarea curentului cerut pe baza puterilor cerute

Felul alimentării	Coeficientul	Numărul receptoarelor		
		$n = 1 \dots 3$ , identice		$n > 4$
		Semnificația puterii cerute		
		putere electrică absorbită	putere utilă	
trifazată	$C_P$	$\sqrt{3} \cos \varphi_n$	$\sqrt{3} \cos \varphi_n \eta_n$	$\sqrt{3} \cos \varphi_n$
	$C_S$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3} \eta_n$	$\sqrt{3}$
monofazată	$C_P$	$\cos \varphi_n$	$\cos \varphi_n \eta_n$	$\cos \varphi_c$
	$C_S$	1	$\eta_n$	1
curent continuu	$C_P$	1	$\eta_n$	1

Se subliniază că relațiile (4.1) și (4.2) nu au caracter empiric, ci reprezintă o formă condensată de scriere a diferitelor relații de calcul pentru curentul cerut; acest fapt a devenit posibil prin introducerea coeficienților  $C_p$  și  $C_s$  și definirea acestora în tabelul 4.27, pentru diversitatea de cazuri particulare întâlnite.

Curentul cerut de două sau trei receptoare diferite se obține însumând curenții ceruți de fiecare receptor în parte, iar curentul cerut de un consumator de calcul cuprinzând receptoare din  $m$  categorii diferite — făcând suma curenților  $I_{ck}$  ceruți de fiecare categorie ( $k$ ) în parte:

$$I_c = \sum_{k=1}^m I_{ck}. \quad (4.3)$$

Puterile cerute  $P_k$  sau  $S_k$ , pe baza cărora se calculează curenții ceruți  $I_{ck}$ , se vor determina conform recomandărilor făcute la paragraful 1.4.1.

b) Metoda coeficienților curentului cerut se aplică pentru grupuri de receptoare trifazate cu tensiunea de linie  $U = 380$  V, pînă la nivelul unor tablouri de distribuție [8].

Receptoarele se consideră grupate pe categorii, conform tabelului 4.28, indicîndu-se pentru fiecare categorie relația empirică de calcul a curentului cerut, direct din puterile nominale ale acestora. Pentru o anumită categorie  $k$ , formată din  $n_k$  receptoare, curentul cerut  $I_{ck}$  se determină cu o relație de forma:

$$I_{ck} = C_{1k} P_{xk} + C_{2k} \sum_{i=1}^{n_k} P_{ni}, \quad (4.4)$$

în care  $P_{xk} = \sum_{i=1}^x P_{ni}$  reprezintă suma primelor  $x$  puteri nominale ale receptoarelor, din șirul de valori  $P_n$  așezate în ordine descrescătoare;

$\sum_{j=x+1}^{n_k} P_{jk}$  — suma puterilor nominale ale restului de  $(n_k - x)$  receptoare;

$C_{1k}, C_{2k}$  — coeficienții curentului cerut, cu valori conform tabelului 4.28.

Puterile din relația (4.4) se consideră active pentru motoare (exprimate în kW) și aparente pentru transformatoare și cuptoare.

Curentul cerut de un consumator de calcul cuprinzînd mai multe categorii se calculează cu relația (4.3), în care  $m$  reprezintă numărul de categorii de receptoare, considerate în accepțiunea dată în tabelul 4.28.

Această modalitate de determinare a curentului cerut este cunoscută [8] sub denumirea de metoda coeficienților curentului de calcul. S-a evitat utilizarea pentru curentul cerut a unui asemenea sinonim, atît pentru a păstra semnificația concretă pe care o are, cît și pentru faptul că, așa cum se va vedea în continuare, există un număr mare de „curenți de calcul” cum ar fi curentul de vîrî, curentul de scurtcircuit, curentul de supra-sarcină etc.

**Relațiile pentru determinarea curentului cerut al coloanelor care alimentează tablouri de distribuție sau grupuri de receptoare trifazate**

Categoria receptoarelor	Relația pentru determinarea curentului de calcul $I_c$ (A)
— Motoare electrice cu funcționare continuă, bine încărcate (pompe, ventilatoare, aeroterme etc.)	$I_c = (1,6 \dots 1,8) P_n$
— Motoare electrice ale mașinilor-unelte cu regim de lucru normal (ușor)	$I_c = 1,6 P_3 + 0,67 P_{n-1}$
— Idem, cu regim de lucru greu	$I_c = 1,6 P_3 + 0,82 P_{n-1}$
— Idem, foarte greu	$I_c = 1,6 P_3 + 1,05 P_{n-1}$
— Motoarele electrice ale macaralelor (motoare cu rotor bobinat cu $\cos \varphi = 0,65$ )	
$DA_n = 15\%$	$I_c = 1,14 P_1 + 0,46 P_{n-1}$
$DA_n = 25\%$	$I_c = 1,32 P_1 + 0,6 P_{n-1}$
$DA_n = 40\%$	$I_c = 1,32 P_1 + 0,74 P_{n-1}$
Pentru motoare cu rotorul în scurtcircuit, $\cos \varphi = 0,5$ astfel că în acest caz pentru $I_c$ se adaugă 30% peste valorile de mai sus.	
— Cuptoare cu rezistență (trifazate)	$I_c = (1,05 \dots 1,35) P_1$
— Transformatoare de sudare $DA_n = 15\%$	$I_c = 1,8 P_3 + P_{n-3}$
— Mașini de sudat prin puncte, cap la cap și altele asemănătoare:	
$DA_n = 12,5\%$	$I_c = 2,6 P_1 + 0,83 P_{n-1}$
$DA_n = 25 \dots 40\%$	$I_c = 2,6 P_1 + 1,46 P_{n-1}$
$DA_n = 70\%$	$I_c = 2,6 P_1 + 1,95 P_{n-1}$
— Motoare electrice ale instalațiilor de prepararea pământurilor în turnătorie	$I_c = 1,6 P_1 + 1,05 P_{n-1}$
— Motoare electrice ale mașinilor și uneltelor portative sau manuale	$I_c = 1,5 P_3 + 0,42 P_{n-3}$
— Motoare electrice pentru acționarea mașinilor-unelte în ateliere cu producție de serie mare:	
— pentru prelucrare la cald	$I_c = 1,85 P_5 + 0,64 P_{n-5}$
— pentru prelucrare la rece	$I_c = 1,85 P_5 + 0,49 P_{n-5}$
— Motoare electrice pentru acționare în atelierele cu producție industrială și de serie mică	$I_c = 0,9(1,85 P_5 + 0,49 P_{n-5})$

**Observații.**  $P_n, P_3, P_5$  reprezintă sumele puterilor nominale ale unui receptor, respectiv a patru și cinci receptoare de puteri cele mai mari, în kW pentru motoare, în kVA pentru transformatoare și cuptoare;  
 $P_1, P_2, P_4, P_6$  reprezintă sumele puterilor nominale ale celorlalte receptoare din aceeași grupă, în kW sau în kVA;  
 $P_{n-1}, P_{n-3}, P_{n-5}$  reprezintă suma puterilor tuturor receptoarelor, în kW sau kVA.

## 4.7. CURENTUL DE VIRF

Unele receptoare electrice absorb, în anumite regimuri din funcționarea lor cu durate relativ reduse, curenți mai mari decât cei nominali, numiți curenți de virf. În această categorie se încadrează în primul rând motoarele electrice, al căror curent de pornire poate fi de câteva ori mai mare decât curentul nominal, în funcție de procedeul de pornire folosit. În afara motoarelor, prezintă curenți mai mari la punerea sub tensiune transformatoarele, elementele reactive (bobine, condensatoare), rezistoarele de încălzire și unele instalații de iluminat.

Cunoașterea curenților de vîrf pentru receptoare sau grupe de receptoare este importantă, deoarece parcurgînd circuitele, respective coloanele, aceștia solicită conductoarele și aparatele de protecție.

Pornirea directă a motoarelor electrice este admisă [32] în următoarele condiții:

- puterea motoarelor să nu depășească 20% din puterea transformatoarelor funcționînd în paralel, la consumatorii alimentați prin posturi de transformare proprii;

- în cazul instalațiilor alimentate de la surse electrice proprii, puterea motoarelor care pot fi pornite direct se va determina pe bază de calcul, verificîndu-se satisfacerea condiției de pierdere de tensiune admisă;

- la consumatorii racordați direct la rețeaua de joasă tensiune a furnizorului, motoare cu puteri pînă la 4 kW inclusiv, sau 5,5 kW inclusiv, după cum tensiunea de linie a rețelei este de 220 V, respectiv 380 V.

Pentru restul situațiilor trebuie stabilite modalități adecvate de pornire, după tipul și puterea motorului, ținînd cont și de specificul mașinii antrenate.

Condițiile de pornire a motoarelor electrice cu puteri mai mari de 5,5 kW, la consumatorii racordați direct la rețeaua de joasă tensiune a furnizorului (de ex. stații de hidrofor, pompe de incendiu, stații de pompare pentru ape uzate, puncte termice etc), se stabilesc de la caz la caz, pe baza unei analize în faza de proiectare, ținînd seamă de natura consumatorului și numai cu avizul întreprinderii furnizoare de energie.

În cazul instalațiilor electrice industriale, alimentarea în joasă tensiune a receptoarelor se realizează prin posturi de transformare, ceea ce impune ca:

- pentru motoarele de acționare individuale (ventilatoare, polizoare, pompe etc) să se prevadă modalitățile de pornire corespunzătoare;

- pentru motoarele de acționare incluse în utilaje, care sînt prevăzute cu anumite sisteme de pornire, să se verifice și să se rezolve îndeplinirea condițiilor privind pornirea directă.

Curentul de pornire  $I_p$  al motoarelor cuplate direct la rețea se determină cu ajutorul curentului relativ de pornire  $\lambda$ , conform relației:

$$I_p = \lambda I_n, \quad (4.5)$$

în care  $I_n$  este curentul nominal al motorului. Curentul relativ de pornire  $\lambda$  se indică în datele de catalog ale motorului, valorile uzuale fiind:

- 6,5 ... 8 — pentru motoare asincrone cu rotor în colivie;
- 2 ... 2,5 — pentru motoare asincrone cu rotor bobinat;
- 3 ... 7 — la pornirea în asincron a motoarelor sincrone;
- 1,7 ... 2 — pentru motoare de curent continuu.

Dacă pornirea nu se face prin cuplare directă, cu ajutorul unor mijloace speciale de pornire, calculul curentului de pornire se poate face cu relația

$$I_p = \lambda' I_n, \quad (4.6)$$

în care  $\lambda'$  reprezintă curentul relativ de pornire corespunzător situației reale. Folosirea relației (4.6) este condiționată de cunoașterea relației de legătură dintre curentul relativ de pornire din cazul pornirii directe și cel

corespunzător modalității de pornire utilizate. Pentru motoarele asincrone se cunosc următoarele relații :

- $\lambda' = \frac{\lambda}{3}$  la pornirea stea-triunghi ;
- $\lambda' = \frac{\lambda}{K^2}$  la pornirea prin autotransformator,  $K$  fiind raportul de transformare ;
- $\lambda' = \frac{\lambda}{1,2 \dots 2}$  la pornirea cu reostat de pornire.

Curenții de pornire determinați cu relațiile (4.5) și (4.6) sînt curenți de vîrf pentru circuitele de receptor, avînd semnificația unor mărimi tranzitorii.

În cazul coloanelor sau circuitelor de utilaj, curenții de vîrf au două componente, dintre care una este tranzitorie ( $I_{vt}$ ), reprezentînd suma curenților de pornire ai receptoarelor care pornesc concomitent sau la intervale în care regimurile lor de pornire se suprapun și una este permanentă ( $I_{vp}$ ), reprezentînd suma curenților ceruți de restul receptoarelor, considerate în funcțiune. Se poate scrie deci

$$I_v = I_{vt} + I_{vp}. \quad (4.7)$$

Un consumator de calcul cu  $n$  receptoare, la care se cunoaște faptul că un număr  $k$  de receptoare pornesc simultan, absoarbe un curent de vîrf

$$I_v = \sum_{j=1}^k I_{vj} + \sum_{j=k+1}^n I_{vj}, \quad (4.8)$$

în care

$$\sum_{j=1}^k I_{vj} = I_{vt} \text{ și } \sum_{j=k+1}^n I_{vj} = I_{vp}.$$

Dacă nu se cunoaște numărul motoarelor care pornesc concomitent, se consideră că pornește motorul pentru care diferența dintre curentul de pornire și curentul nominal este maximă, astfel încît relația (4.7) se scrie

$$I_v = I_{pM} + \sum_{j=1}^{n-1} I_{vj}, \quad (4.9)$$

în care  $I_{pM}$  reprezintă curentul de pornire al motorului pentru care ( $I_p - I_n$ ) are valoarea maximă.

#### 4.8. PROTECȚIA INSTALAȚIILOR ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

Prin laturile rețelelor electrice de joasă tensiune pot circula în mod accidental, în afara curenților ceruți și de vîrf, supracurenți datorati unor cauze ca :

— scurtcircuite, constînd în scăderea bruscă a valorii impedanței sau rezistenței echivalente din circuit ;



— suprasarcini, constind în solicitarea receptoarelor la puteri mai mari decât cele nominale sau peste durata de acționare normală, fie din motive tehnologice, fie datorită unor variații prelungite a tensiunii la bornele acestora în raport cu tensiune nominală.

Se poate considera că domeniul de valori pentru curenții de suprasarcină este  $(1,05 \dots 1,50) I_n$ , în raport cu intensitatea curentului cerut, iar curenții de scurtcircuit sînt mai mari decât  $2 I_n$ .

Împotriva acestor curenți accidentali, instalațiile electrice trebuie protejate prin dispozitive de protecție corespunzătoare.

Protecția împotriva curenților de scurtcircuit are semnificația unei protecții a rețelelor de joasă tensiune, deoarece numai acestea sînt solicitate la scurtcircuit. În asemenea situații, receptoarele electrice fie că sînt cauza însăși a producerii scurtcircuitului, datorită producerii unui defect interior de izolație, fie că le scade la zero tensiunea de alimentare, astfel încît problema protecției lor este în ambele cazuri nesemnificativă.

În ceea ce privește protecția împotriva curenților de suprasarcină, aceasta are în schimb semnificația unei protecții a receptoarelor, deoarece curenții de suprasarcină nu reprezintă o solicitare deosebită pentru rețelele dimensionate a rezista la acțiunea curenților de scurtcircuit.

Alte protecții destinate receptoarelor sînt :

- contra lipsei de tensiune sau a scăderilor acesteia (tensiune minimă) ;
- contra mării exagerate a turației, în cazurile cînd această mărire ar putea provoca pagube importante sau ar primejdi viața oamenilor (la motoarele de curent continuu cu excitație serie) ;
- contra funcționării în două faze.

#### 4.8.1. CONDIȚII DE PREVEDERE A PROTECȚIEI REȚELELOR ELECTRICE

Împotriva curenților de scurtcircuit, rețelele electrice de joasă tensiune se protejează prin siguranțe fuzibile și întreruptoare automate cu relee sau declanșatoare electromagnetice.

În figura 4.30 sînt reprezentate principalele situații în care, conform normativului [32] în vigoare, trebuie prevăzute dispozitive de protecție (pentru simplificare, dispozitivele de protecție sînt reprezentate prin simbolul siguranțelor fuzibile). Acestea sînt următoarele :

— la plecările din tablourile de distribuție, ca de exemplu siguranțele  $e1 \dots e5$  de pe plecările tabloului general  $TG$ ,  $e6 \dots e9$  de pe cele ale tabloului principal  $TP2$ ,  $e10 \dots e12$  ale tabloului secundar  $TS1$ ,  $e13 \dots e16$  ale tabloului de utilaj  $TU$  (fig. 4.30, *a*) și  $e1$  de pe plecarea liniei principale  $LP$  din tabloul general  $TG$  (fig. 4.30, *b*) ;

— la ramificațiile spre receptoare individuale, ca de exemplu siguranțele  $e14 \dots e18$  (fig. 4.30, *a*) ;

— pe circuitele secundare de comandă, protecție, măsură și semnalizare, exemplificarea fiind dată prin siguranța  $e13$  (fig. 4.30, *a*), cu excepția cazurilor în care siguranțele circuitelor de forță sînt corespunzătoare și pentru aceste circuite ;

— în toate punctele în care secțiunea coloanei descrește, astfel de situații determinînd de exemplu, montarea siguranțelor  $e2$ ,  $e3$  și  $e5$  (fig. 4.30, *b*). Fac excepție de la această prevedere cazurile în care dispozitivul

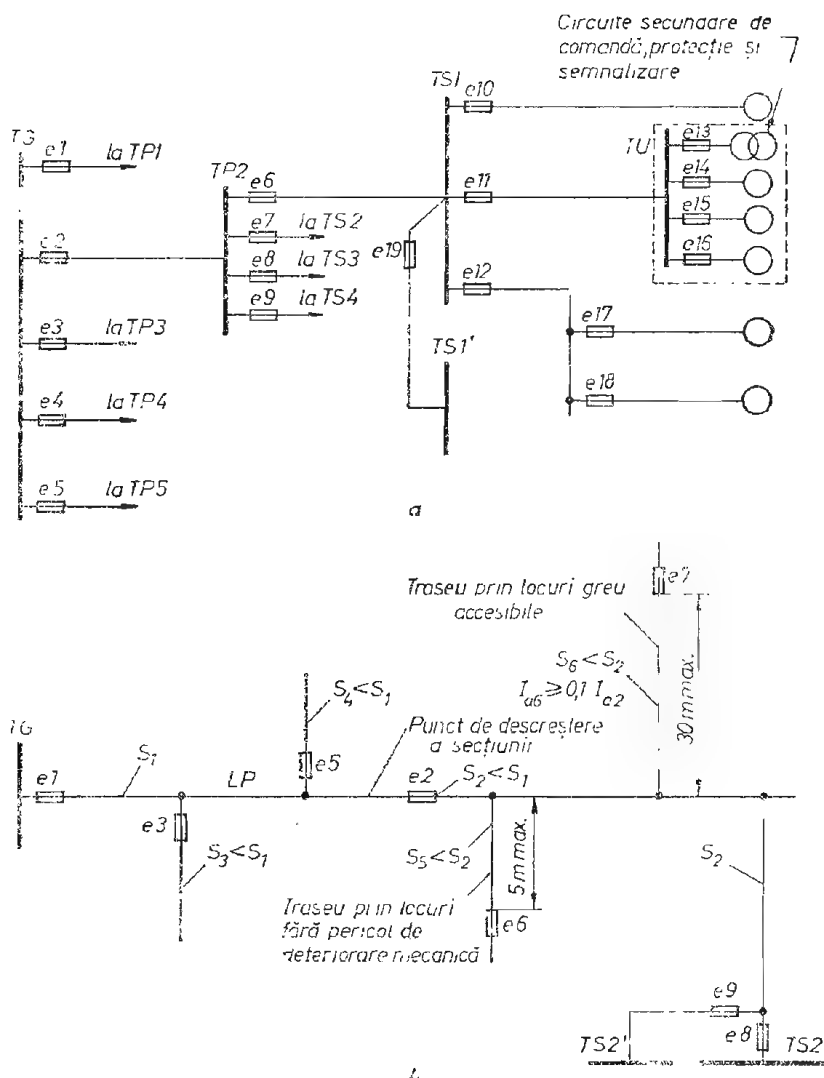


Fig. 4.30. Principalele condiții de prevenire a protecției rețelelor electrice împotriva curenților de scurtcircuit:  
 a) rețea combinată; b) rețea cu linie principală.

de protecție din amonte de punctul respectiv asigură secțiunea cea mai mică a ramificației, precum și coloanele executate din bare. Astfel, în rețeaua din figura 4.30, b siguranțele  $e_2$  pot lipsi, dacă siguranțele  $e_1$  îndeplinesc condițiile de protecție pentru tronsonul liniei principale cu secțiunea  $s_2$ ;

după punctul de descreștere a secțiunii pentru coloana ramificată, în locuri accesibile, la distanțe de cel mult 5 m, dacă ramificația este amplasată în locuri fără pericol de deteriorare mecanică (siguranțele  $e_6$ , fig 4.30, b) și de cel mult 30 m, dacă ramificația este amplasată în locuri greu acce-

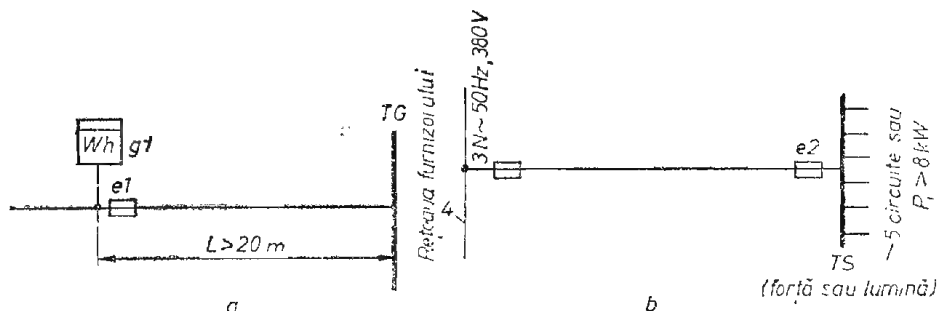


Fig. 4.31. Prevederea protecției în condiții legate de furnizorul de energie electrică:

a — la ieșirea din contorul de tarifiare; b — la intrarea tablourilor de distribuție cu mai mult de 5 circuite, sau  $P_1 > 8 \text{ kW}$  alimentate direct din rețeaua de joasă tensiune a furnizorului

sibile, cu condiția ca secțiunea ramificației să aibe o capacitate de transport egală cu minimum 10% din aceea a coloanei magistrale (siguranțele  $e7$ , fig. 4.30, b);

— la plecările racordate direct la bornele de intrare ale unui tablou de distribuție (siguranțele  $e19$  de pe coloana tabloului  $TS1'$ , fig. 4.30, a) sau înaintea siguranțelor generale ale acestuia (siguranțele  $e9$  de pe coloana  $TS2'$ , fig. 4.30, b). În astfel de situații, se găsesc coloanele iluminatului de siguranță, pompelor de incendiu, ascensoarelor etc.

Prevederea protecției în condiții având legătură cu furnizorul de energie electrică este ilustrată în figura 4.31. Conform acestor condiții, se montează dispozitive de protecție la:

— ieșirea din contorul de tarifiare  $g1$  al întreprinderii furnizoare de energie electrică, dacă lungimea coloanei până la tabloul de distribuție este mai mare de 20 m (siguranțele  $e7$ , fig. 4.31, a);

— intrarea în tablourile de distribuție cu puterea instalată totală mai mare de 8 kW, la consumatorii alimentați direct din rețeaua de joasă tensiune a furnizorului (siguranțele  $e2$ , fig. 4.31, b);

— intrarea în tablourile de lumină sau forță, cu mai mult de 5 circuite, alimentate direct din rețeaua de joasă tensiune a furnizorului (siguranțele  $e2$ , fig. 4.31, b). În cazul unor puteri instalate de 5 ... 8 kW, necesitatea prevederii dispozitivelor de protecție la intrarea în tablourile de forță, cu mai puțin de 5 circuite, se apreciază de proiectant, în funcție de specificul tehnologic al receptoarelor alimentate din tablourile respective.

Se exceptează de la prevederea referitoare la montarea dispozitivelor de protecție pe fiecare circuit (ramificație) de receptor și se admite o protecție comună mai multor receptoare în următoarele situații, reprezentate în figura 4.32:

— dacă linia principală din care se ramifică circuitele de

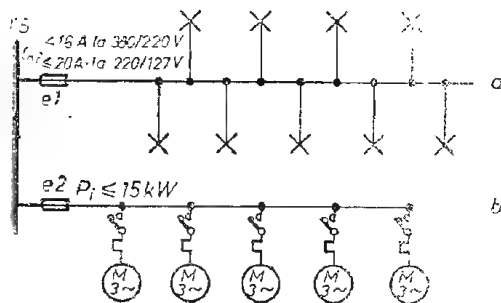


Fig. 4.32. Distribuții cu protecții comune pentru mai multe receptoare:

a — de mică putere (corpuri de iluminat); b — motoare electrice.

alimentare a unor receptoare de mică putere, ca aparate de uz casnic, corpuri de iluminat ș.a. este asigurată la plecarea din tablou cu siguranțe de maximum 16 A la tensiunea de 380/220 V, respectiv de 20 A la tensiunea de 220, 127 V (fig. 4.32, a);

— dacă puterea instalată totală a motoarelor electrice alimentate de la aceeași linie principală nu depășește 15 kW (fig. 4.32, b). În acest caz, pentru dimensionarea conductoarelor și fuzibilelor, se va avea în vedere simultaneitatea sarcinilor în regim normal și la pornire, iar fiecare motor va fi prevăzut cu contactor și dispozitiv de protecție (releu termic) contra suprasarcinii.

Montarea dispozitivelor de protecție este interzisă în următoarele situații, reprezentate în figura 4.33:

— pe conductele utilizate ca nul de lucru (de exemplu, siguranțele *e3* și *e4*). Fac excepție instalațiile monofazate din construcțiile de locuințe sau alte construcții, în care nu este asigurată întreținerea instalației prin personal calificat, la care se montează dispozitive de protecție (siguranțe sau întreruptoare automate mici) și pe conducta de nul de lucru. Această conductă nu se admite a fi utilizată, în astfel de cazuri, pentru protecție și trebuie să aibă același grad de izolație ca și conducta de fază;

— pe conductele instalației de protecție împotriva electrocutării (pământ, nul ș.a.), cazuri concretizate în instalația din figura 4.33 prin siguranțele *e5* de pe conducta  $N_p$  de nul de protecție și *e6* de pe conducta de legare la pământ.

În general, se recomandă utilizarea siguranțelor fuzibile ca dispozitive de protecție împotriva curenților de scurtcircuit, montarea lor făcându-se pe toate fazele sau polii instalației electrice respective. Acestea se fabrică într-o gamă largă de curenți nominali (v. subcap. 4.5), curentul nominal maxim fiind de 1000 A, sînt simple, ieftine și sigure în exploatare.

Soluția protecției la scurtcircuit prin întreruptoare automate de joasă tensiune cu releu sau declanșatoare electromagnetice se adoptă [32] în următoarele cazuri:

— cînd curentul nominal al dispozitivului de protecție rezultă mai mare de 1000 A;

— cînd este necesară repunerea imediată (manual sau automat) sub tensiune, a consumatorului alimentat prin porțiunea de rețea considerată;

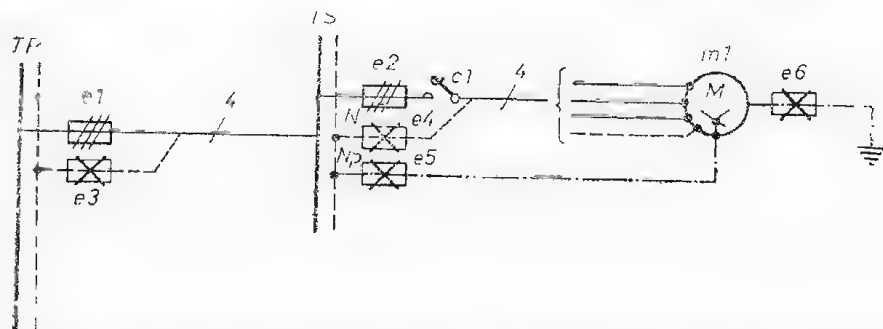


Fig. 4.33. Explicativ pentru cazurile interzise de echipare cu dispozitive de protecție:  
*e1, e2* — dispozitive de protecție obligatorii (pe faze); *e3, ..., e6* — elem. interzise; *m1* — receptor cu neutru accesibil; *N* — nul de lucru;  $N_p$  — nul de protecție.

- cînd se cere ca dispozitivul de protecție să fie comandat de protecții suplimentare sau blocaje (de ex. la utilaje);
- cînd consumatorul funcționează frecvent în regim de suprasarcină;
- cînd rețeaua de joasă tensiune funcționează buclat;
- cînd capacitatea de rupere necesară pentru dispozitivul de protecție, cel puțin egală cu valoarea curentului de scurtcircuit care ar putea să apară în punctul considerat, nu poate fi realizată prin montarea siguranțelor fuzibile.

Avînd în vedere că întreruptoarele automate de joasă tensiune sînt prevăzute, în afara releeelor sau declanșatoarelor maxime de curent (electromagnetice) și cu relee sau declanșatoare, în toate cazurile de mai sus se va face dimensionarea și reglarea protecției la suprasarcină. Rezultă că circuitele de utilaj și coloanele electrice se protejează la suprasarcină numai în acele situații, cînd protecția lor la scurtcircuit se realizează prin întreruptoare automate cu relee sau declanșatoare electromagnetice și termice.

#### 4.8.2. CONDIȚII DE PREVEDERE A PROTECȚIEI RECEPTOARELOR

Principala protecție a receptoarelor electrice de forță este împotriva curenților de suprasarcină. Aceasta se realizează prin dispozitive de protecție cu relee termice, cum sînt contactoarele automate de joasă tensiune cu relee termice (v. par. 4.5).

Caracteristica de funcționare a releeului termic trebuie să asigure acționarea contactorului înainte de apariția pericolului de deteriorare (supraîncălzirea și străpungerea izolației) a receptorului protejat. Pe de altă parte, protecția nu trebuie să acționeze (să întrerupă circuitul) la suprasarcini de scurtă durată, normale, ca de exemplu curenții de pornire ai motoarelor electrice, virfurile de curent date de procesul tehnologic etc.

Sînt în curs de răspîndire elemente termosensibile realizate pe bază de termistoare [10], care au avantajul că realizează o protecție mai sigură decît releele termice, datorită faptului că termistoarele se implantează în mai multe puncte sensibile ale receptorului de protejat.

Protecția contra suprasarcinii prin dispozitive automate nu este obligatorie în următoarele situații [32]:

- cînd nu există posibilitatea apariției unor suprasarcini, fie datorită însăși principiului de funcționare a receptoarelor (de ex. sursele de lumină), fie datorită nesimultaneității regimurilor lor de suprasarcină (cazul coloanelor și al circuitelor de utilaj);
- la motoarele electrice cu puteri mai mici de 1,1 kW, în cazurile cînd acestea au un regim de funcționare intermitent sau de scurtă durată sau în cazurile de regim de lungă durată, dacă supraîncărcarea lor nu este posibilă (de ex. la aeroterme, ventilatoare etc.).

Siguranțele fuzibile montate pe circuite, de pe care lipsesc dispozitive de protecție la suprasarcină conform celor de mai sus, ar fi de preferat [32] să aibă o caracteristică lentă de funcționare.

Motoarele electrice cu puteri sub 1,1 kW, ale căror circuite sînt protejate numai prin siguranțe fuzibile se recomandă să fie prevăzute cu protecție contra funcționării în două faze. Această protecție se impune a fi aplicată și altor receptoare a căror funcționare nu este posibilă decît la alimentare trifazată.

Protecția la lipsa de tensiune sau tensiune minimă se prevede în următoarele cazuri [32]:

- la motoarele electrice care nu pornesc prin conectare directă la rețea, ci prin aparate de pornire cu acționare manuală;

- la motoarele electrice a căror autopornire nu este permisă, fie datorită condițiilor procesului tehnologic, fie datorită pericolului pe care-l prezintă pentru personalul de exploatare;

- la motoarele electrice cu pornire automată.

Dispozitivele care realizează protecția la lipsa de tensiune sau la tensiune minimă se montează, în general, pentru fiecare motor în parte; se admite utilizarea unui singur dispozitiv pentru mai multe motoare din aceeași încăpere care, dacă sînt pornite direct, suma puterilor lor nominale nu depășește 15 kW sau dacă sînt pornite cu aparate speciale, acestea sînt readuse automat în starea inițială de pornire, în cazul lipsei de tensiune.

## 4.9. SELECTIVITATEA PROTECȚIEI

### 4.9.1. GENERALITĂȚI

Rețelele electrice de joasă tensiune conțin un număr mare de dispozitive de protecție, de același tip sau de tipuri diferite, unele dintre ele fiind plasate în serie, în sensul distribuției de energie. Aceste dispozitive de protecție, trebuie să funcționeze selectiv, adică în cazul unei avarii, este necesar să acționeze protecția cea mai apropiată de locul avariei și care este destinată naturii avariei produse, izolîndu-se astfel numai porțiunea respectivă de rețea, restul receptoarelor continuînd să fie alimentate.

Selectivitatea protecției, între dispozitive de același tip sau de tipuri diferite, trebuie asigurată în condițiile că acestea realizează:

- protecții similare, fie contra curenților de scurtcircuit (selectivitatea între două siguranțe fuzibile, între două întreruptoare automate cu releu sau declanșatoare electromagnetice sau între o siguranță și un întreruptor automat), fie contra curenților de suprasarcină (selectivitatea între două releu sau două declanșatoare termice sau între un releu și un declanșator termic);

- protecții diferite, un dispozitiv realizînd protecția împotriva curenților de scurtcircuit și celălalt împotriva curenților de suprasarcină (selectivitatea dintre siguranță fuzibilă și releu sau declanșator termic, dintre releu sau declanșatoare electromagnetice și termice).

În cazul în care protecția este realizată prin dispozitive de același tip și fabricație, curenții nominali ai fuzibililor siguranțelor, respectiv timpii de declanșare ai întreruptoarelor automate vor fi în creștere, în sensul de parcurgere a instalației electrice de la receptor spre sursă.

Pentru dispozitive de protecție de tip sau de fabricație diferită, selectivitatea se asigură prin examinarea caracteristicilor de protecție corespunzătoare.

#### 4.9.2. CRITERII DE APREȚIERE A SELECTIVITĂȚII

Funcționarea selectivă a protecției se studiază în mod riguros prin trasarea caracteristicilor de protecție pentru dispozitivele care lucrează în serie și determinarea diferențelor de timp  $\Delta t$  între timpii de acționare la anumite valori ale curenților. Selectivitatea este asigurată atunci când, aceste diferențe de timp au valori egale sau mai mari decât cele care se indică în cele ce urmează, pentru fiecare situație în parte.

a) Selectivitatea între o siguranță fuzibilă și un releu termic trebuie realizată în special la nivelul circuitelor electrice de receptor, aici găsindu-se înseriate cele două dispozitive de protecție. Acestea sînt prevăzute pentru protecții diferite, la scurtcircuit, respectiv suprasarcină, astfel încît selectivitatea între ele este asigurată dacă fiecare dispozitiv acționează în domeniul corespunzător de supra-curenți.

În figura 4.34 se prezintă un circuit prevăzut cu siguranțele  $e1$  și releul termic  $e2$ , acesta din urmă acționînd asupra contactorului  $c1$  (fig. 4.34, a) și caracteristicile de protecție corespunzătoare (fig. 4.34, b).

Caracteristicile de protecție se intersectează într-un punct  $A$ , care are la stînga domeniul supra-curenților (de suprasarcină) pentru care protecția este asigurată de releul termic  $e2$  conform caracteristicii 2, iar la dreapta — domeniul supra-curenților (de scurtcircuit) pentru care protecția este asigurată de siguranțele fuzibile  $e1$ , conform caracteristicii 1.

La valoarea curențului de scurtcircuit  $I_{sc}$ , care s-ar stabili pe tronsonul considerat, diferența  $\Delta t$  între ordonatele corespunzătoare celor două caracteristici, dintre care cea a releului termic este deasupra, trebuie să fie  $\Delta t \geq 0,04$  s. Folosirea unei siguranțe fuzibile cu un curent nominal prea mic, ar determina neselectivitatea protecției în domeniul curenților de suprasarcină, iar una cu un curent nominal mai mare — neselectivitatea în domeniul curenților de scurtcircuit. Ultima situație este deosebit de periculoasă, deoarece ruperea curenților de scurtcircuit de către contactor atrage după sine deteriorarea acestuia.

Cînd se utilizează pentru protecția la suprasarcină rele termice tip TSA (v. subcap. 4.5), pentru a avea selectivitate, curentul nominal al fuzibilului trebuie să aibă cei puțin valorile corespunzătoare din tabelul 4.29. Din analiza acestor date se constată că selectivitatea între o siguranță fuzibilă cu putere de rupere medie și un releu termic este asigurată dacă curenții respectă condiția

$$I_{sc} \geq 3I_{rn} \quad (4.10)$$

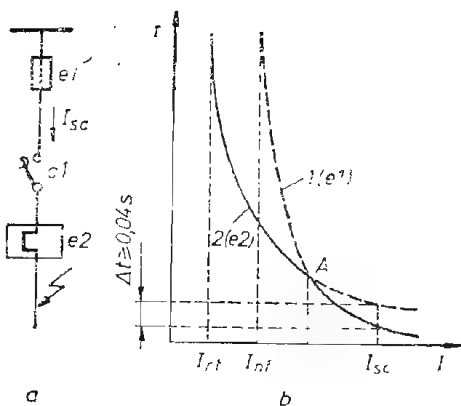


Fig. 4.34. Explicativă pentru selectivitatea dintre o siguranță fuzibilă și un releu termic:

a — schema de alimentare a circuitului; b — caracteristicile de protecție.

Corelația dintre curentul nominal minim al fuzibilului și curentul de reglaj al reului termic tip TSA, pentru a avea selectivitate

$I_{rt} [A]$	0,4; 0,55	0,75; 1	1,3; 1,8	2,4	3,3	4,5; 6	8	11	15	20
$I_{nf} [A]$	2	4	6	10	16	20	25	35	50	63
$I_{rt} [A]$	25	32	40	63	100	200; 250	315	400		
$I_{sc} [A]$	80	100	125	160	315	630	800	1000		

iar dacă siguranța este de tip MPR (mare putere de rupere)

$$(I_{nf})_{MPR} \geq 2,5 I_{rt}. \quad (4.11)$$

Evident, se va alege întotdeauna curentul nominal minim al siguranței fuzibile, care respectă relația (4.10), respectiv (4.11).

b) Selectivitatea între două siguranțe fuzibile  $e1$  și  $e2$ , (fig. 4.35), având curenți nominali  $I_{nf1} > I_{nf2}$  se obține atunci când:

— caracteristicile lor de protecție nu se intersectează sau punctul de intersecție se situează la o valoare a curentului mai mare decât curentul de scurtcircuit  $I_{sc}$ , de la locul instalării siguranței având curentul nominal cel mai mic;

— diferențele de timp măsurate pe diagramă au valorile indicate în figura 4.35, b.

În cadrul rețelor electrice de joasă tensiune, cazul siguranțelor fuzibile consecutive este cel mai frecvent întâlnit. Pentru rezolvarea mai rapidă a problemei selectivității, fără a mai fi necesar studiul caracteristicilor de protecție timp-curent sau dacă nu există posibilitatea cunoașterii lor exacte, se recomandă [32] ca, între curenți nominali a două siguranțe consecutive, eșalonarea să fie cel puțin din două în două trepte pe scara normalizată, dacă siguranțele sînt cu topire rapidă și din treaptă în treaptă, dacă sînt cu topire lentă. Corelația dintre curenți nominali ai siguranțelor înseriate, de fabricație internă, este prezentată în tabelul 4.30.

Se evită montarea siguranțelor cu topire rapidă înaintea celor cu topire lentă.

Pentru exemplificarea modului de eșalonare a siguranțelor fuzibile, se consideră un tablou secundar de distribuție avînd pe pleacări siguranțe rapide de 35 și 50 A; în amonte de acestea, pe coloana de alimentare a tabloului, se vor monta siguranțe de minimum 80 A.

c) Selectivitatea între un întrerupător automat  $a1$  și o siguranță fuzibilă  $e2$

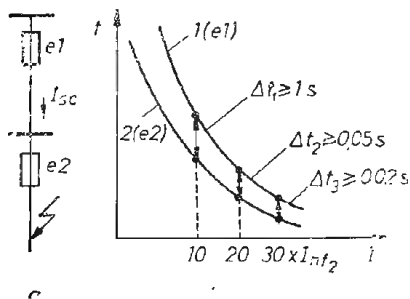


Fig. 4.35. Explicativă pentru selectivitatea dintre două siguranțe fuzibile: a — schema de alimentare; b — caracteristicile de protecție.



Corelația între curenții nominali ai fuzibilelor de același fel, înscrise, pentru asigurarea selectivității

Tipul siguranțelor	Poziția în raport cu sensul distribuției	Intensitatea nominală a fuzibilului [A]								
		16	20	25	35	50	63	80	100	
Cu filet	amonte	16	20	25	35	50	63	80	100	
	aval	6	10	16	20	25	35	50	63	
MPR	amonte	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000
	aval	100	125	160	200	250	315	400	500	630

(fig. 4.36) este realizată atunci când caracteristicile nu se intersectează și diferența de timp măsurată între punctele cele mai apropiate ale caracteristicilor este  $\Delta t \geq 0,04$  s; dacă siguranța fuzibilă  $e2$  este prea mare (cu linie întreruptă în fig. 4.36, b), apare un triunghi de neselectivitate (hașurat).

Întreruptorul automat se consideră prevăzut cu declanșatoare (sau rele) termice și electromagnetice, astfel încât caracteristica sa se compune din două porțiuni: pe porțiunea  $AB$  acționează declanșatorul (sau releul) termic, iar pe porțiunea  $CD$  - declanșatorul (sau releul) electromagnetic.

Acest caz de selectivitate apare, în general, la nivelul tablourilor generale.

d) Selectivitatea între o siguranță fuzibilă  $e1$  și un întreruptor automat  $a1$ , care se succed pe o direcție de distribuție conform schemei din figura 4.37, a, este asigurată dacă intersecția inevitabilă a celor două caracteristici se situează la un curent  $I_A$  mai mare decât curentul de scurtcircuit  $I_{sc}$  din aval de întreruptorul automat, iar între cele două caracteristici există, la curentul de scurtcircuit considerat, un interval  $\Delta t \geq 0,05$  s.

Această variantă de înscriere a celor două dispozitive de protecție este mai rar întâlnită în instalațiile electrice industriale (v. par. 4.8.1), fiind

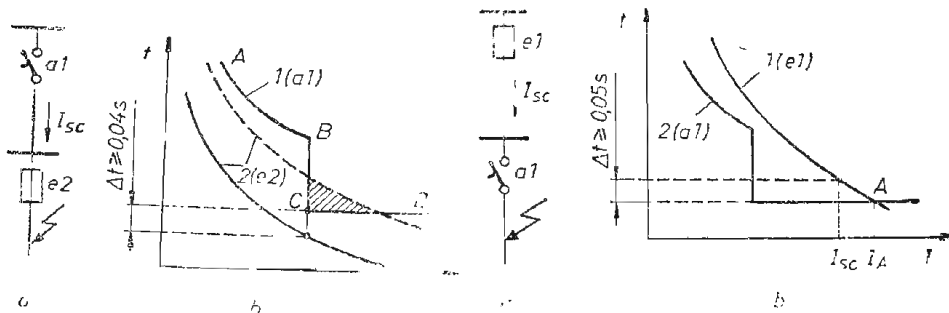


Fig. 4.36. Explicativă pentru selectivitatea dintre un întreruptor automat și o siguranță fuzibilă:

a - schema de alimentare; b - caracteristicile de protecție.

Fig. 4.37. Explicativă pentru selectivitatea dintre o siguranță fuzibilă și un întreruptor automat:

a - schema de alimentare; b - caracteristicile de protecție.

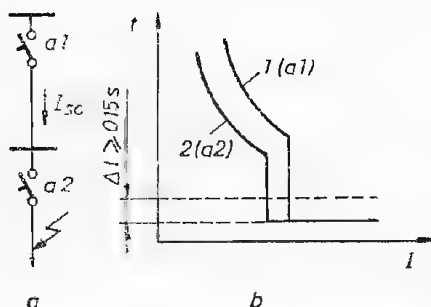


Fig. 4.38. Explicativă pentru selectivitatea dintre două întreruptoare automate:

a - schema de alimentare; b - caracteristicile de protecție.

(sau relele) electromagnetice ale ambelor întreruptoare declanșează practic simultan, deci neselectiv.

Pentru obținerea selectivității este necesar ca acțiunea dispozitivului de protecție electromagnetică al întreruptorului  $a1$  să fie temporizată cu treapta de timp  $\Delta t \geq 0,15$  s (posibilă la întreruptorul OROMAX cu declanșator tip Ksi).

mai frecventă la instalațiile electrice din clădiri de locuit și similare, unde se utilizează microîntreruptoare automate pentru protecția circuitelor.

Corelația dintre curenții nominali ai siguranțelor fuzibile și ai întreruptoarelor automate nuci conectate în aval de acestea, pentru realizarea selectivității, este prezentată în tabelul 4.31.

e) Selectivitatea între două întreruptoare automate  $a1$  și  $a2$  (fig. 4.38), avind curenții nominali  $I_{n1} > I_{n2}$  este asigurată, în general, în domeniul curenților de suprasarcină; la curenții de scurtcircuit, declanșatoarele

Tabelul 4.31

Corelația între curenții nominali ai siguranțelor fuzibile și ai întreruptoarelor automate nuci conectate în serie, pentru realizarea selectivității

Curentul nominal al întreruptorului automat mic, A		6	10	16	20	25
Curentul nominal maxim al siguranței fuzibile din amonte	rapidă	20	25	35	50	60
	lentă	16	20	25	35	50

Situația înscrierii a două întreruptoare automate se întâlnește la nivelul unui tablou general, la care sînt racordate tablouri de distribuție asimetric încărcate. Evitarea măsurii de temporizare a acțiunii releului electromagnetic, care comandă întreruptorul  $a1$ , se poate obține prin repartizarea cît mai uniform posibilă a sarcinilor pe tablouri de distribuție, ceea ce adeseori permițe înlocuirea întreruptorului  $a2$  prin siguranțe fuzibile.

## 4.10. ALEGEREA APARATELOR DE PROTECȚIE ȘI COMUTAȚIE

### 4.10.1. PRECIZĂRI GENERALE

În proiectarea rețelelor electrice de joasă tensiune este indicat ca, după stabilirea schemei generale de alimentare, să se treacă la alegerea aparatelor de protecție și comutație. Această cerință este logică deoarece:

— protecția la suprasarcină, ca protecție a receptoarelor, poate fi dimensionată direct în funcție de caracteristicile tehnice ale acestora;

— protecția la scurtcircuit, deși reprezintă o protecție a rețelelor, este recomandabil să fie dimensionată înainte de alegerea secțiunii conductoarelor, pentru a nu se ajunge la situația în care ansamblul relațiilor de calcul pentru curenții nominali ai fuzibilelor sau pentru curenții de reglaj ai rețelelor electromagnetice să definească o mulțime vidă. În acest fel, se elimină unele reveniri în mersul de proiectare.

Alegerea aparatelor de protecție și comutație trebuie să fie precedată de prevederea acestora pe schema generală de distribuție, conform condițiilor expuse în subcapitolul 4.8. Pentru a rezolva cu prilejul alegerii aparatelor și problema selectivității protecției, se începe cu rețelele de distribuție și se continuă cu cele de alimentare, pînă la coloana generală din postul de transformare.

În general, la alegerea aparatelor, ca și a materialelor, nu pot fi luate în considerare toate condițiile și solicitările pe care trebuie să le satisfacă, deoarece unele nu pot fi determinate decît după depășirea unei prime etape — de alegere pentru regimul de funcționare normal. De aceea, unele condiții, ca de exemplu pentru aparate — stabilitatea termică și dinamică la curenți de scurtcircuit, se grupează pentru a doua etapă, de verificare.

Alegerea aparatelor pentru regimul de funcționare normal se face pe baza următoarelor considerente:

— rolul funcțional la locul de montare și modul de acționare (dacă este cazul);

— categoriile în care se încadrează încăperea, spațiul, locul sau zona respectivă din punct de vedere al caracteristicilor mediului, al pericolului de electrocutare și al pericolului de incendiu (v. subcap. 4.5);

— aparatele să fie omologate, iar pentru cele din import se va face asimilarea caracteristicilor acestora cu cele ale produselor indigene omologate [32];

-- caracteristicile electrice nominale să aibă valori identice sau apropiate cu mărimile electrice corespunzătoare, pe care trebuie să le satisfacă în regim de funcționare normal.

În cele ce urmează, nu se va mai reveni asupra primelor trei aspecte enumerate mai sus, acestea fiind presupuse ca luate în considerare, la fel ca unele caracteristici nominale mai generale, printre care se enumeră, tensiunea, frecvența și numărul de faze.

#### 4.10.2. ALEGEREA PROTECȚIEI RECEPTOARELOR ȘI CIRCUITELOR

Variantele de echipare a circuitelor cu dispozitive de protecție și comutație, conforme cu condițiile de prevedere a protecției (v. subcap. 4.10), sînt prezentate în figura 4.39. Se constată că există un număr de trei situații posibile:

— pentru un receptor  $mI$  cu regim posibil de funcționare la suprasarcină (fig. 4.39, *a*) circuitul cuprinde siguranțele fuzibile  $cI$  pentru protecția la scurtcircuit, releul termic  $e2$  pentru protecția la suprasarcină și contactorul  $cI$  care asigură comutația, precum și întreruperea regimului de

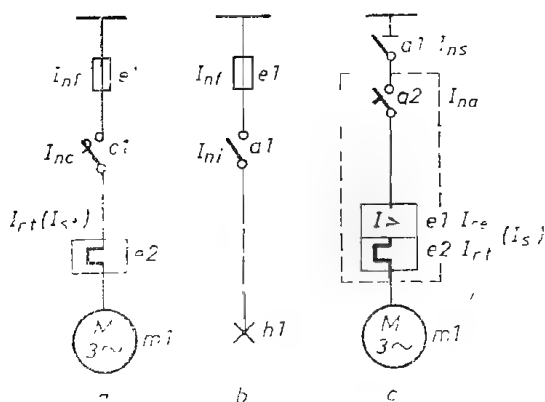


Fig. 4.39. Variantele de echipare a circuitelor cu dispozitive de protecție și comutație:  
a — cu siguranțe fuzibile și contactor cu relee termice; b — cu siguranțe fuzibile; c — cu întreruptor automat.

ruptorul manual  $a1$ , cu rol de comutație. La receptoare de iluminat sau prize, siguranțele  $e1$  pot fi înlocuite prin întreruptoare automate mici;

— pentru un receptor protejat printr-un întreruptor automat  $a2$  (fig. 4.39, c), circuitul mai cuprinde în afara declanșatoarelor sau releelor electromagnetice  $e1$  și termice  $e2$ , care de obicei intră în compunerea întreruptorului automat și întreruptorul manual  $a1$  cu rol de separator.

În timp ce siguranțele fuzibile, întreruptoarele automate și separatoarele se dispun în cadrul tabloului de distribuție de la care se ramifică circuitul respectiv, contactoarele și întreruptoarele manuale cu rol de comutație se pot dispune după caz, fie la tablou, fie în vecinătatea receptorului. Siguranțele fuzibile  $e1$  din figura 4.39, a și b pot asigura o separare vizibilă și sigură a circuitului prin extragerea patronului fuzibil.

Pe anumite circuite se pot monta și aparate speciale de pornire (de ex. comutatoare stea-triunghi), a căror alegere se va face similar cu a dispozitivelor de comutație considerate.

În continuare, alegerea aparatelor se organizează nu după configurația circuitului, ci după felurile protecțiilor asigurate. Principalele mărimi caracteristice ale aparatelor, care intervin în alegerea lor, sînt indicate alături de simbolurile acestora în figura 4.39.

#### 1) Dimensionarea protecției la suprasarcină

Releul termic pentru protecția receptorului împotriva curenților de suprasarcină se alege în funcție de curentul de serviciu  $I_n$ , care trebuie să îndeplinească condiția

$$I_n \geq I_{ns} \quad (4.12)$$

$I_n$  fiind curentul nominal al receptorului protejat. Gama curenților de serviciu ai releelor termice de fabricație internă este indicată în subcapitolul 4.5.

Reglajul releului termic ales, caracterizat prin curentul de reglaj  $I_{re}$ , trebuie să țină cont pe de o parte de domeniul curenților de suprasarcină admiși de receptor, iar pe de altă parte de domeniul reglajului posibil al releului termic, din punct de vedere constructiv.

suprasarcină cînd primește comanda de la  $e2$ . Cînd comutația circuitului se realizează mai rar și receptorul  $m1$  funcționează corelat cu alte receptoare (de ex. în cadrul aceluiași utilaj), contactorul  $c1$  poate fi înlocuit printr-un întreruptor manual, urmînd ca releul termic  $e2$  să aibe legat contactul de protecție în circuitul de comandă al contactorului comun;

— pentru un receptor  $h1$  la care regimul de suprasarcină nu este posibil (fig. 4.39, b), circuitul cuprinde numai siguranțele  $e1$  și între-

Conform primei condiții, curentul de reglaj trebuie să aparțină intervalului

$$I_{r1} = (1,0 \dots 1,2) I_n, \quad (4.13)$$

fiind de preferat reglajul releului termic, pe curentul nominal al receptorului sau cît mai apropiat de acesta [32].

În cazul receptoarelor dimensionate pentru un regim de lucru intermitent, în locul curentului nominal  $I_n$ , din relațiile (4.12) și (4.13) se va considera curentul cerut  $I_c$  (v. subcap. 4.6).

Cea de-a doua condiție, a posibilității concrete de reglaj, este determinată de tipul constructiv al aparatului. Astfel pentru releele termice tip TSA domeniul reglajului posibil este, în general

$$I_{r1} = (0,6 \dots 1) k_p I_c, \quad (4.14)$$

în care  $k_p$  este un coeficient de corecție funcție de temperatură, avînd valoarea  $k_p = 1$  dacă temperatura mediului ambiant este în intervalul  $t_a^0 = (10 \dots 35)^\circ\text{C}$  și valori conform tabelului 4.14, pentru temperaturi în afara intervalului respectiv. Dacă temperatura mediului este variabilă în cursul aceleiași zile este indicat să se ia  $k_p = 1$ , iar releul termic și receptorul să fie în aceeași încăpere, pentru a asigura sensibilitatea necesară a protecției.

Pentru declanșatoarele termice ale întreruptoarelor USOL și cele tip Ksi ale întreruptoarelor OROMAX, domeniul de reglaj este

$$I_{r1} = (0,8 \dots 1,25) k_p I_c, \quad (4.15)$$

iar pentru declanșatoarele termice tip H (pentru OROMAX) —

$$I_{r1} = (0,5 \dots 1) k_p I_c; \quad (4.16)$$

valorile coeficienților de corecție pentru aceste declanșatoare nu se indică în mod explicit, considerîndu-se suficientă precizarea domeniului de reglaj la diferite temperaturi, conform tabelelor 4.17 și 4.19.

Un reglaj mai precis se obține cînd se folosesc diviziunile marcate pe aparat, ca de exemplu la jumătatea intervalului sau diviziunile de cîte o zecime din curentul de serviciu.

În final se alege un curent de reglaj, care să aparțină intersecției dintre domeniile de valori definite de relația (4.13) și una dintre relațiile (4.14), (4.15) sau (4.16) și să se respecte condițiile suplimentare expuse mai sus.

## 2) Dimensionarea protecției la scurtcircuit

Aceasta constă în stabilirea curentului nominal al fuzibilului sau a curenților de serviciu și reglaj pentru releele sau declanșatoarele electromagnetice.

Curentul nominal al fuzibilului  $I_{nf}$  se determină în baza următoarelor condiții:

siguranțele fuzibile (lente sau rapide) trebuie să suporte curentul de durată al receptorului

$$I_{nf} \geq I_n; \quad (4.17)$$

— siguranțele fuzibile trebuie să reziste la acțiunea curentului de pornire pe toată durata sa, care se exprimă în cazul siguranțelor cu topire rapidă prin relația

$$I_{n,r} \geq \frac{I_p}{c}, \quad (4.18)$$

în care  $c$  este un coeficient de siguranță egal cu 2,5 pentru porniri rare și ușoare (durata pornirii este 5 s);  $c = (1,6 \dots 2)$  pentru motoarele cu pornire grea și de durată (timpul de pornire 5 ... 10 s) sau pentru motoarele cu porniri ușoare dar dese;  $c = 1,5$  pentru porniri foarte grele (durata pornirii > 10 s). Îndeplinirea acestei condiții presupune și satisfacerea condiției de a rezista sub acțiunea suprasarcinilor accidentale de scurtă durată;

— protecția la scurtcircuit prin siguranțe fuzibile trebuie să fie selectivă cu protecția la suprasarcină prin relee termice, ceea ce înseamnă ca la stabilirea curentului nominal al fuzibilului să se aibă în vedere relațiile (4.10) și (4.11) sau valorile minime recomandate în tabelul 4.29.

Nomograma din figura 4.40 permite dimensionarea siguranțelor fuzibile pentru protecția circuitelor în conformitate cu condițiile (4.17) și (4.18). Sensul de parcurgere al nomogramei este cel indicat prin săgeți. Prima mărime intermediară de calcul o reprezintă curentul nominal  $I_n$  al receptorului, determinat pe baza mărimilor nominale  $P_n$ ,  $U_n$ ,  $\cos \varphi_n$  și  $\gamma_n$ ; în continuare, se determină curentul de pornire  $I_p$ , iar curentul nominal se rabatează după dreapta  $DA_n = 100\%$ . În cadranul stînga-jos se obține curentul nominal al fuzibilului  $I_{n,r}$ , prin intersecția scării date de gama valorilor normalizate, cu dreptele corespunzătoare celor două valori caracteristice  $I_n$  și  $I_p/c$ , conform relațiilor (4.17) și (4.18); se alege  $I_{n,r}$  corespunzător treptei celei mai mari intersectate.

Nomograma mai permite obținerea curentului cerut  $I_c$ , pentru un singur receptor sau un grup de receptoare identice.

Curentul de serviciu  $I_s$  al releului sau declanșatorului electromagnetic este identic cu cel al dispozitivului de protecție termic, deoarece acestea se fabrică de obicei asociate, sub forma blocurilor de relee sau a declanșatoarelor. Pentru a corespunde condițiilor de funcționare, curentul de serviciu al releului (declanșatorului) electromagnetic trebuie să se încadreze în domeniul definit de relația:

$$I_s \geq \frac{k_{pe}}{k_{re}} I_p, \quad (4.19)$$

în care  $I_p$  este curentul de pornire al receptorului alimentat prin circuitul protejat;

$k_{pe}$  — coeficient de siguranță la pornire, cu valori în intervalul (1,2 ... 1,4) pentru relee și respectiv (1,4 ... 1,6) pentru declanșatoare;

$k_{re}$  — coeficientul domeniului de reglaj, avînd valori diferite în funcție de tipul releului sau declanșatorului.

Pentru principalele tipuri de întreruptoare cu relee sau declanșatoare electromagnetice, coeficientul domeniului de reglaj are următoarele valori:

- $k_{re} = 3 \dots 6$  în cazul releelor electromagnetice ale întreruptoarelor CAR și AMT;
- $k_{re} = 3 \dots 10$  pentru întreruptoare DITA;

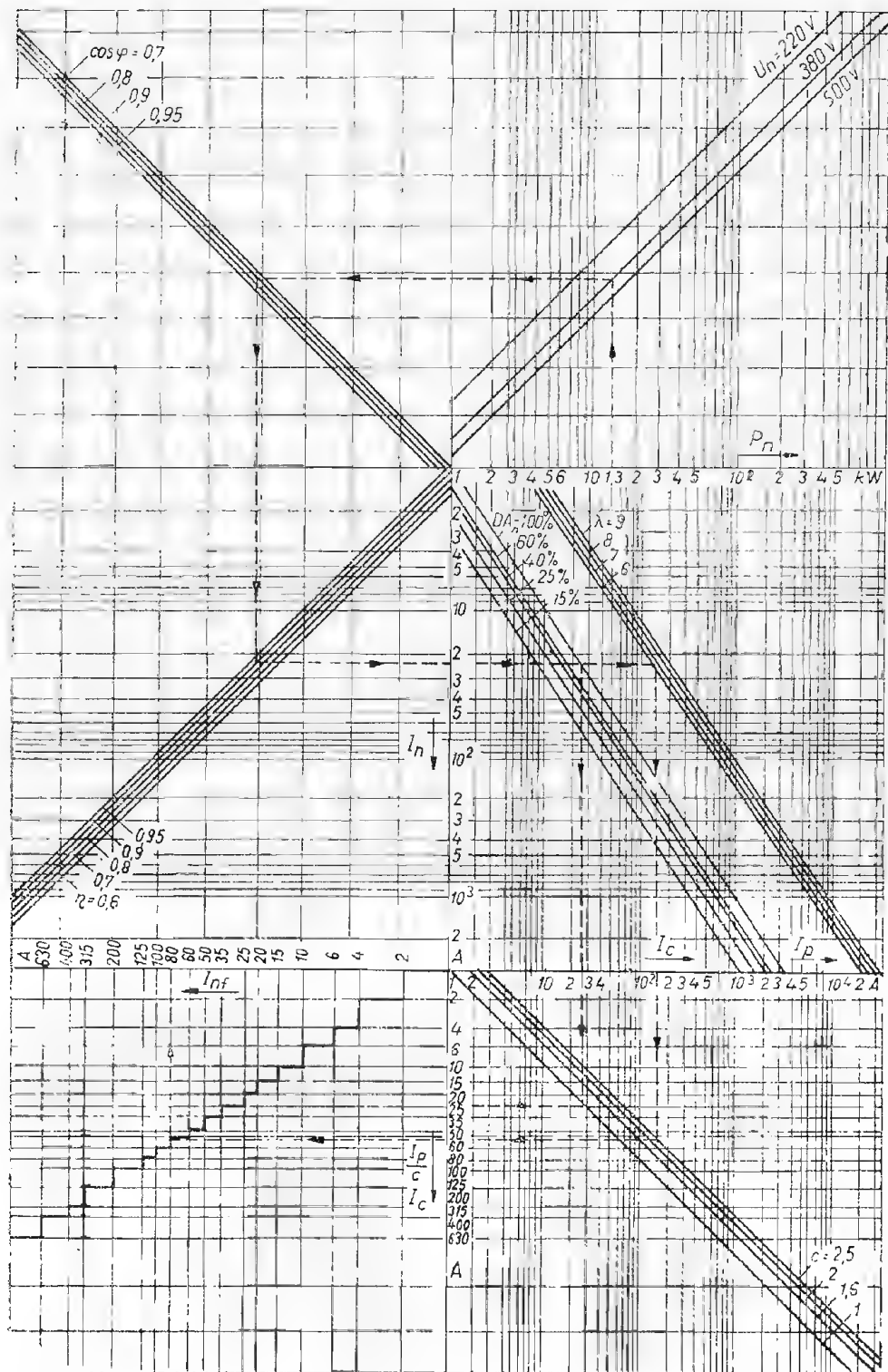


Fig. 4.40. Nomogramă pentru calculul curenților nominali, ceruți și de pornire și alegerea siguranțelor fuzibile de protecție a circuitelor.

—  $k_{re} = 10$  pentru declanșatoarele montate în USOL 100 și USOL 250, respectiv  $k_{re} = 5 \dots 10$  pentru declanșatoarele montate în USOL 500 și USOL 800 (v. tab. 4.12);

$k_{re} = 6, 7$  sau  $8$  pentru declanșatoarele tip H și  $k_{re} = 4 \dots 8$  pentru declanșatoarele Ksi ale întreruptoarelor tip OROMAX (v. tab. 4.14);

—  $k_{re} = 2 \dots 4$  pentru releele electromagnetice ale întreruptoarelor de curent continuu.

Deoarece dispozitivele de protecție termice se vor regia pentru protecția la suprasarcină, a doua condiție care trebuie impusă la alegerea curentului de serviciu  $I_s$  este

$$I_s \geq I_c. \quad (4.20)$$

Dacă curentul de reglaj  $I_{re}$  al dispozitivelor electromagnetice de protecție are o singură valoare (reglaj fix făcut de furnizor), atunci se verifică îndeplinirea condiției de nedeclanșare la curentul de pornire cu relația:

$$I_{re} \geq k_{pe} \cdot I_p, \quad (4.21)$$

iar dacă se dispune de un domeniu de valori pentru coeficientul  $k_{pe}$  al domeniului de reglaj și reglajul este posibil la diferite valori

$$I_{re} = k_{re} I_s, \quad (4.22)$$

atunci se alege acea valoare  $I_{re}$  care să verifice relația (4.21).

### 3) Alegerea aparatelor de comutație

Contactoarele și întreruptoarele automate propriu-zise (fără relee) se aleg ținând seama de valorile nominale ale tensiunii, de curentul  $I_{nc}$ , respectiv  $I_{na}$  al contactelor principale

$$I_{nc} \geq 1,1 I_n, \quad (4.23)$$

în care  $I_n$  este curentul nominal al receptorului, de capacitatea și frecvența de conectare și de deconectare în regim normal și accidental, de tensiunea de serviciu a bobinei de acționare; toate aceste caracteristici trebuie să satisfacă mărimile nominale și de serviciu ale circuitelor deservite.

Separatoarele se aleg pe baza tensiunii și curentului lor nominal, care trebuie să aibă valori cel puțin egale cu ale circuitelor deservite. Pentru separatoarele având curenți nominali mai mari de 1000 A (la care furnizorul indică valorile maxime admise ale curenților de stabilitate termică și dinamică) este necesar să se facă verificarea lor la scurtcircuit.

Întreruptoarele neautomate (cu pîrghie, cu manetă sau pachet) se aleg de asemenea pe baza tensiunii și curentului lor nominal, dar ținând seama și de curenții de conectare și deconectare în regim normal de funcționare (manevra acestor aparate nu este admisă în timpul unui scurtcircuit). În mod obișnuit valoarea curenților de închidere și deschidere a acestor aparate este mai mică decât valoarea curenților nominali.

Se recomandă ca aparatele de comutație să fie astfel montate (v. fig. 4.39), încît contactele lor mobile să nu fie sub tensiune atunci cînd aparatele sînt deschise și să nu se poată închide sau deschide sub efectul vibrațiilor, la lovirea aparatelor sau datorită greutății proprii a părților mobile [32]. Aceste contacte trebuie să întrerupă simultan toate conductele de fază ale circuitului (trifazat, bifazat sau monofazat) pe care îl deservesc.



Înteruperea conductei de nul de lucru se admite numai la instalațiile în care aceasta nu este utilizată și pentru protecție.

Pentru curenți mici, sub 63 A, se pot alege fie întreruptoare cu pîrghie, fie de tip pachet, în funcție de caracteristicile lor cordate cu considerentele de gabarit și de protecție a omului. Astfel întreruptoarele pachet au gabarit redus (recomandate la tablouri mici, de ex. cele capsulate) și curent de rupere mare. Întreruptoarele cu pîrghie au poziții clare de conectare-deconectare, fiind indicate în special din punctul de vedere al protecției împotriva atingerilor accidentale directe.

Aparatele de conectare folosite pentru circuitele electrice ale lămpilor fluorescente se recomandă [32] să aibă un curent nominal de minimum 10 A.

### 4.10.3. ALEGEREA PROTECȚIEI COLOANELOR

Principalele variante de echipare a coloanelor cu dispozitive de protecție și comutație, prezentate în figura 4.41, sînt :

— coloană protejată la plecare prin siguranțele fuzibile  $e1$  și prevăzută la intrarea în tabloul de distribuție  $TD$  alimentat cu un separator  $a1$  (fig. 4.41,  $a$ ) ;

— coloană protejată prin întreruptorul automat  $a2$  care realizează o dublă protecție la scurtcircuit și la suprasarcină, fiind prevăzută cu separatoarele  $a1$  și  $a3$ , la plecare, respectiv la intrarea în tabloul de distribuție alimentat (fig. 4.41,  $b$ ).

Ca dispozitive cu rol de separator pot servi și întreruptoarele neautomate (cu pîrghie, cu manetă) sau comutatoarele (pachet). Prevederea lor este necesară, în general, pentru a se asigura controlul vizual direct al separației și în special, la intrarea în tablourile de distribuție, conform [32].

Coloane avînd configurațiile din figura 4.41 fac legătura între tabloul general și tablourile principale, între tabloul principal și cele secundare sau între coloane magistrale și tablouri secundare. Echipări asemănătoare cu cele din figura 4.41,  $a$  și  $b$  se recomandă pentru circuitele de utilaj, cu deosebirea că, întreruptoarele de la intrările tablourilor de utilaj ( $a1$ , respectiv  $a3$ ) pot lipsi, datorită faptului că tablourile de utilaj sînt prevăzute, în general, cu întreruptoare generale la intrare.

Alte variante mai particulare pentru schemele de distribuție ale coloanelor sînt prezentate în figurile 4.30 și 4.31 (v. par. 4.8.1) la care, în conformitate cu condițiile de prevedere a protecției, se montează aparate de protecție împotriva curenților de scurtcircuit la intrarea în tablourile alimentate (la capătul coloanei, considerînd sensul de distribuție a energiei electrice).

Alegerea aparatelor de comutație care intră în componența echipamentului electric al coloanelor se face în baza precizărilor generale de la paragraful 4.10.1 și a indicațiilor date în cadrul paragrafului 4.10.2. Particularități apar numai la dimensionarea protecțiilor.

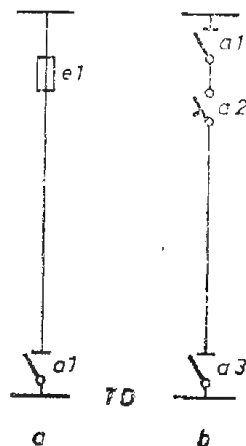


Fig. 4.41. Variantele principale de echipare ale coloanelor :

$a$  — cu siguranțe fuzibile ;  
 $b$  — cu întreruptor automat.

a) *Protecția la scurtcircuit* constituie protecția principală a coloanelor. Dacă protecția este realizată prin siguranțe fuzibile (fig. 4.41, a), curentul nominal al acestora se determină cu relațiile

$$I_{nf} > I_c;$$

$$I_{nf} \geq \frac{I_{vt}}{c} + I_{vp}, \quad (4.24)$$

similare relațiilor (4.17), respectiv (4.18), din cazul protecției circuitelor. După cum se observă din relația (4.24), numai componenta tranzitorie  $I_{vt}$  (v. rel. 4.7) a curentului de vîrf se reduce prin împărțire la coeficientul de siguranță  $c$ .

Avînd în vedere expresiile concrete (4.8) și (4.9) ale curentului de vîrf, relația (4.24) se detaliază în următoarele expresii:

$$I_{nf} \geq \frac{\sum_{j=1}^k I_{pj}}{c} + \sum_{j=k+1}^n I_{cj}, \quad (4.25)$$

respectiv

$$I_{nf} \geq \frac{I_{pM}}{c} + \sum_{j=1}^n I_{cj}, \quad (4.26)$$

în care semnificațiile mărimilor sînt cele deînite la relațiile (4.8), (4.9) și (4.18).

Curentul de serviciu  $I_s$  al declanșatoarelor sau releelor de protecție se alege similar, ca în cazul circuitelor, cu deosebirea că în locul curentului de pornire, din relația (4.19), se utilizează curentul de vîrf

$$I_s \geq \frac{k_{pe}}{k_{re}} I_v;$$

$$I_s \geq I_c,$$

coeficienții  $k_{pe}$  și  $k_{re}$  avînd aceleași semnificații și valori.

Reglajul releelor electromagnetice se stabilește în mod identic la valoarea

$$I_{re} = k_{re} I_s, \quad (4.28)$$

în care  $k_{re}$  poate avea o singură valoare sau un domeniu de valori (v. par. 4.10.2, pct. b) și se verifică la condiția de nedeclanșare pentru curentul de vîrf

$$I_{re} \geq k_{pe} I_v. \quad (4.29)$$

Se recomandă ca alegerea sau reglarea dispozitivelor de protecție la scurtcircuit, după relațiile (4.24), respectiv (4.29), să se efectueze cît mai aproape de limita inferioară admisă [32].

b) *Reglarea protecției la suprasarcină* se face numai pentru coloanele protejate la scurtcircuit prin întreruptoare automate (fig. 4.41, b).

În cazul coloanelor, curentul de reglaj al releului termic este necesar să se încadreze în intervalul

$$I_{rt} = (1, 0 \dots 1, 2) I_c, \quad (4.30)$$

care definește domeniul curenților de suprasarcină ai coloanelor.

În ceea ce privește reglajul posibil, acesta se stabilește conform relațiilor (4.14), (4.15) sau (4.16).

Curentul de reglaj se obține și în cazul coloanelor prin intersecția domeniului de valori dat de relația (4.30) cu domeniul corespunzător reglajului posibil, în baza acelorași indicații de la protecția receptoarelor (v. par. 4.10.2, pct. a). Se menține valabilitatea recomandării de mai sus, ca reglajul să se facă apropiat de limita inferioară admisă de relația (4.30).

Definitivarea protecției coloanelor se poate face numai după analiza selectivității acestora în raport cu dispozitivele de protecție cele mai mari, de pe plecările tablourilor de distribuție alimentate. De aceea, este indicat ca în alegerea protecției coloanelor, să se urmeze succesiunea: circuite de utilaj, coloane secundare, coloane principale, magistrale.

## 4.11. ALEGEREA CONDUCTELOR ELECTRICE

### 4.11.1. PRECIZĂRI GENERALE

Alegerea conductelor electrice implică examinarea și respectarea unui sir de posibilități și condiții, care se încheie prin determinarea corespunzătoare a secțiunii conductoarelor.

a) Materialul conductoarelor, utilizate în instalațiile electrice de joasă tensiune, poate fi: cuprul, aluminiul, oțelul-aluminiu și oțelul.

Folosirea cuprului în instalațiile electrice industriale sub formă de conducte neizolate și izolate, bare sau cabluri, se permite [32] numai în următoarele situații:

- la circuitele care alimentează receptoare de importanță deosebită cum sînt pompele de incendiu, consumatorii de siguranță din centrale electrice, corpurile instalației de iluminat de siguranță pentru evacuare de tip 1 și 2 (v. cap. 5), dar numai dacă secțiunea conductoarelor de aluminiu ar rezulta mai mică de  $10 \text{ mm}^2$ ;

- la circuitele care alimentează receptoare amplasate în medii cu pericol de explozie (în cazurile precizate în prescripțiile specifice);

- în încăperi și în spații din exterior cu mediu coroziv, în cazurile în care stabilitatea chimică a aluminiului sau oțelului nu este corespunzătoare și numai dacă instalațiile nu pot fi realizate în execuție etanșă;

- la instalațiile de pe utilaje mobile (de ex. pe macarale, poduri rulante, vibratoare etc.);

- la instalațiile de pe utilaje supuse șocurilor sau vibrațiilor permanente, care se pot transmite conductelor electrice (de ex. de pe cajele laminarelor);

- la instalațiile de protecție prin legare la pământ sau la nul, conform celor indicate în [60, 61];

- la circuitele de comandă, automatizare, măsură și semnalizare, cu excepția circuitelor de alimentare cu curent operativ a tablourilor de comandă, atunci cînd secțiunea conductoarelor din aluminiu rezultă mai mare de  $10 \text{ mm}^2$  sau a unor receptoare electrice mai puțin importante, prevăzute numai cu comandă locală și care nu fac parte din sistemul de automatizare a instalației respective.

De asemenea, folosirea conductelor electrice de orice tip cu conductoare din cupru se limitează numai în zonele în care se impune acest lucru.

În afara situațiilor de mai sus, se folosesc conductoare de aluminiu. Conductoarele de oțel-aluminiu sînt destinate liniilor electrice aeriene, iar cele de oțel — instalațiilor de protecție (prin legare la pămînt, împotriva trăsnetelor).

b) Felul izolației trebuie luat în considerare în corelație cu categoriile de încadrare a încăperii sau a locului de montare din punct de vedere al caracteristicilor mediului și al pericolului de incendiu și explozie, avînd în vedere și dezideratul de a se utiliza cu precădere izolații din materiale plastice, apreciate ca greu combustibile [32].

c) Domeniul de utilizare (v. subcap. 4.5) reprezintă un criteriu fundamental pentru alegerea conductelor. Din acest punct de vedere interesează în principal următoarele tipuri de conducte:

- pentru transportul energiei electrice (neizolate sau izolate);
- pentru instalații fixe;
- pentru instalații mobile;
- pentru ascensoare;
- pentru bransamente la construcții industriale;
- pentru sudare electrică;
- de comandă, măsură, semnalizare și control.

b) Modul de montare se corelează cu tipul conductei din punct de vedere al domeniului de utilizare, cu felul izolației și cu categorii de încadrare a încăperii sau a locului de montare [35].

În cazul barelor, modul de montare poate fi:

- pe izolatoare, în execuție deschisă;
- pe izolatoare, în execuție acoperită (canał, șanț);
- protejat în cutii;
- capsulat.

Conductele neizolate se montează pe izolatoare, iar cele izolate — fie pe izolatoare, fie în tuburi sau țevi de protecție. În ceea ce privește tuburile sau țevile de protecție, acestea pot fi amplasate;

- pe construcție;
- pe console;
- îngropat.

Se recomandă utilizarea cu prioritate a tuburilor din materiale plastice, cu excepția interdicțiilor menționate în [32].

Cablurile electrice se pot instala în următoarele feluri:

- aparent pe construcție;
- pe console;
- îngropat în tub;
- canal, tunel, pod;
- canal cu nisip.

În general, trebuie să se mai cunoască dacă montarea se face în interior, exterior sau sub tencuială.

Modul de montare influențează într-o măsură hotărîtoare condițiile de răcire ale conductoarelor și prin aceasta alegerea secțiunii, determinînd în același timp, tehnologia de execuție a instalației.

e) Numărul conductoarelor pe anumite tronsoane se determină din schema de alimentare și schema cu amplasamente. Interesează astfel numă-

ruî conductelor dintr-un tub, al conductoarelor dintr-un cablu sau cordon şi al barelor în paralel pe pol sau fază.

f) Frecvenţa curentului (curent continuu sau alternativ) se cere specificată mai ales în cazul barelor şi cablurilor.

g) Secţiunea minimă admisă pentru conductoare este prevăzută prin normativ [32], fiind obligatorie chiar dacă din calculele de încălzire sau a pierderilor de tensiune rezultă secţiuni inferioare.

În tabelul 4.32 sînt indicate secţiunile minime admise ale conductelor utilizate în interiorul clădirilor, iar în tabelul 4.33 — pentru cele montate în exterior, pe pereţii clădirilor.

Tabelul 4.32

Secţiunile minime admise pentru conductele utilizate în interiorul clădirilor

Nr. crt.	Destinaţia conductelor	Secţiunile minime ale conductoarelor [mm <sup>2</sup> ]	
		cupru	aluminiu
1	2	3	4
1	Pentru interiorul corpurilor de iluminat	0,75	—
2	Pentru un singur corp de iluminat	1	2,5
3	Pentru circuite de lumină	1,5	2,5
4	Pentru o singură priză	1,5	2,5
5	Pentru circuite de priză	2,5	4
6	Pentru circuitele prizei, ce alimentează ferestre cu lămpi cu descărcări	2,5	4
7	Pentru circuite de forţă	1,5	2,5
8	Pentru circuitele monofazate, conductorul de nul va avea aceeaşi secţiune ca şi conductorul de fază	—	—
9	Pentru circuite de lumină trifazată, cu patru conductoare, pînă la o secţiune de 16 mm <sup>2</sup> a conductorului de fază, secţiunea conductorului de nul de lucru va fi egală cu aceea a conductorului de fază.	—	—
10	Pentru circuite de nulul trifazat, cu patru conductoare, începînd cu secţiunea conductorului de fază de 25 mm <sup>2</sup> , secţiunile minime pentru conductorul de nul de lucru vor fi:		
	— pentru 25 mm <sup>2</sup>	16	16
	— pentru 35 mm <sup>2</sup>	10	16
	— pentru 50 mm <sup>2</sup>	25	25
	— pentru 70 mm <sup>2</sup>	35	35
	— pentru 95 mm <sup>2</sup>	50	50
	— pentru 120 mm <sup>2</sup>	70	70
	— pentru 150 mm <sup>2</sup>	70	70
	— pentru 185 mm <sup>2</sup>	95	95
	— pentru 240 mm <sup>2</sup>	120	120
	— pentru 300 mm <sup>2</sup>	150	150
	— pentru 400 mm <sup>2</sup>	185	185
11	Pentru cordonii din clădirile de locuit, conductorul de protecţie:		
	— în sistem selective,	6 sau 0L	—
		100	—
		mm <sup>2</sup>	—
	— la scheme individuale	4	—

Tabelul 4.32 (continuare)

1	2	3	4
12	Pentru circuite din apartamente, conductorul de protecție	2,5	—
13	Pentru coloane între tabloul principal și secundar, se va determina prin calcul, dar minim	2,5	4
14	Pentru conducte de legătură dintre contor și tabloul de distribuție al instalației interioare din locuințe, se va determina prin calcul, dar minimum:		
	— pentru rețele cu tensiune de 120 V	10	10
	— pentru rețele cu tensiune de 220 V	6	6
15	Pentru instalațiile monofazate:		
	— conductorul de fază pt. iluminat și prize	1,5	2,5
	— conductorul de nul comun	2,5	2,5
	conductorul de legătură între contor și tabloul de distribuție al instalației	2,5	4
16	Pentru conducte de legătură din interiorul tablourilor de distribuție și automatizare:		
	— legături lipite	1	—
	— legături cu cleme sau la borne	1,5	2,5
17	Pentru circuitele secundare ale transformatoarelor de curent pentru măsură	2,5	—
18	Pentru cordonale de alimentare ale utilajelor mobile sau portative, secțiunea conductorului va fi pentru un consum de curent al aparatului:		
	— până la 2 A	0,50	—
	— până la 6 A	0,75	—
	— peste 6 A până la 10 A	1,0	—
	— peste 10 A până la 16 A	1,5	—
	— peste 16 A până la 25 A	2,5	—
	— peste 25 A până la 32 A	4	—
	— peste 32 A până la 40 A	6	—
	— peste 40 A până la 63 A	10	—
19	Pentru cordonale de alimentare ale corpurilor de iluminat portative, secțiunea conductorului va fi pentru un consum de curent al aparatului:		
	— până la 4 A	0,5	—
	— peste 4 A până la 10 A	0,75	—
20	Pentru instalații A.M.C. destinate unor receptoare sau instalații importante (vezi art. 4.30)	1	—
21	Pentru legături electrice A.M.C. între aparatele montate într-un echipament și pentru legăturile dintre aceste aparate și conectori	0,75	—
22	Cabluri de energie	1,5	4
23	Cabluri de comandă, control	1,5	—

Tabelul 4.33

Secțiunile (diametrele) minime admise pentru conductele montate în exterior, pe pereții clădirilor

Nr. crt.	Destinația conductelor	Secțiunile (diametrele) minime ale conductoarelor		
		Cupru [mm <sup>2</sup> ]	Aluminiu [mm <sup>2</sup> ]	Oțel [mm]
1	Pentru instalații aeriene pe izolatoare, montate pe suporturi incombustibile fixate pe pereți, în exteriorul clădirilor, la distanță de maximum 4 m între suporturi	4	10	Ø 3
2	Pentru interiorul corpului de iluminat	1	—	—

**Observații.** Utilizarea conductoarelor masive în exteriorul clădirilor pe pereți se admite până la cel mult 16 mm<sup>2</sup> în cazul cuprului, 10 mm<sup>2</sup> în cazul aluminiului și Ø6 mm în cazul oțelului.

#### 4.11.2. DETERMINAREA SECȚIUNII CONDUCTOARELOR

Pentru a nu periclita starea izolației conductelor electrice, este necesar ca temperatura acestora să nu depășească anumite valori maxim admise. Luînd ca punct de referință temperatura pe conductor, valorile maxim admise  $t_{adm}^0$  pentru diversele conducte de joasă tensiune sînt după cum urmează:

- bare de oțel, conducte cu izolație de PVC . . . . . +70°C;
- cabluri cu izolație și manta de PVC . . . . . +70°C;
- cabluri cu izolație de hîrtie, bare de cupru și aluminiu +65°C;
- conducte și cabluri cu izolație din cauciuc . . . . . +60°C.

Solicitarea termică a conductelor este datorată curenților de sarcină de durată (regim permanent), de suprasarcină de scurtă (la pornire) și lungă durată și de scurtcircuit.

Secțiunile conductoarelor electrice se dimensionează pentru a satisface condiția de stabilitate termică la încălzire în regim permanent sau intermitent (în funcție de regimul de funcționare al receptoarelor alimentate). Secțiunile determinate se verifică apoi la condițiile de încălzire în regim de scurtă durată (la curenții de vîrf), de pierdere de tensiune și de rezistență mecanică.

În regim permanent, cantitatea de căldură degajată în conductor prin efect Joule Lenz este cedată integral, prin suprafața conductei, mediului ambiant, distribuția temperaturilor pe secțiunea conductei rămînînd constantă. Relația echilibrului este

$$I_c^2 \rho [1 + k_p(t_c^0 - t_a^0)] \frac{l}{s} = \alpha A(t_c^0 - t_a^0), \quad (4.31)$$

- în care:
- $I_c$  — curenții de durată prin conductor;
  - $\rho$  — rezistivitatea conductorului la temperatura de referință  $t_c^0 = 20^\circ\text{C}$ ;
  - $k_p$  — coeficientul de creștere a rezistivității cu temperatura;
  - $t_c^0$  — temperatura medie a conductorului;
  - $l, s$  — lungimea și secțiunea conductorului;
  - $\alpha$  — transmisivitatea termică (coeficientul de transmitere a căldurii prin convecție și radiație) de la suprafața conductei;
  - $A$  — suprafața (laterală) de cedare a căldurii;
  - $t_c^0$  — temperatura de la suprafața conductei;
  - $t_a^0$  — temperatura mediului ambiant.

Dacă se atribuie temperaturii medii a conductorului valorile maxim admise  $t_{adm}^0$  indicate mai sus, pe baza relației (4.31) se pot determina intensitățile maxime admise  $I_{c adm}$  ale curenților în regim permanent pentru diverse tipuri de conducte

$$I_{c adm} = \sqrt{\frac{\alpha A(t_c^0 - t_a^0)}{\rho[1 + k_p(t_{c adm}^0 - t_a^0)] \frac{l}{s}}}. \quad (4.32)$$

În practică nu se lucrează cu relația (4.32), datorită dificultăților de apreciere a condițiilor de răcire în ansamblul lor, dată fiind diversitatea situațiilor de montare.

Intensitățile maxime admise  $I_{c adm}$  pentru curenții în regim permanent sînt date în tabele (v. tab. 4.2 ... 4.5), pentru diferite tipuri de conducte, luînd în considerare o temperatură a mediului ambiant  $t_a^c = -20 \dots 35^\circ\text{C}$  și anumite condiții de montare (deci de răcire). În cazul pozării conductelor în alte condiții decît cele indicate în tabele, se aplică corecții ale intensităților maxime admise, prin intermediul unor coeficienți de corecție, prezentați în cele ce urmează. Pentru a se elimina eventualele reveniri în mersul de calcul, coeficienții de corecție se vor aplica în mod corespunzător asupra valorilor curenților ceruți, care trec în regim permanent prin conducte, astfel înîntîzirea alegerea secțiunii conductoarelor să se facă direct pe baza intensităților maxime admise din tabelele 4.3, 4.5, 4.7 și 4.8.

A. Determinarea secțiunii conductoarelor pentru a satisface condiția de stabilitate termică la încălzire în regim permanent sau intermitent (în funcție de regimul de lucru al consumatorilor și receptoarelor) se face cu relația

$$I_{c adm} \geq \frac{I_c}{aK}, \quad (4.33)$$

în care:  $I_c$  este curențul cerut (v. subcap. 4.6) de receptor sau de consumator; d. calcul;

$a$  — coeficientul de corecție al regimului de lucru;

$K$  — coeficientul de corecție al condițiilor de răcire, dependente de tipul conductei, de condițiile de instalare și de mediu.

Coeficientul de corecție al regimului de lucru are valoarea  $a = 1$  pentru regimuri permanente și

$$a = \frac{0,875}{\sqrt{DA}} \quad (4.34)$$

pentru regimul intermitent de lucru, cu durata totală a ciclului de minimum 10 minute și durata de funcționare de maximum 4 minute;  $DA$  reprezintă durata relativă de anclanșare (conectare), adică raportul dintre durata de funcționare și durata totală a ciclului. Aplicarea coeficientului supraunitar dat de relația (4.34) este admisă numai pentru conductoare de cupru cu secțiuni peste 10 mm<sup>2</sup> sau de aluminiu — peste 16 mm<sup>2</sup> [32], ceea ce revine la curenți ceruți în regim intermitent după cum urmează:

- $I_c > 70$  A, dacă se folosesc conducte izolate cu PVC sau cauciuc;
- $I_c > 110$  A, dacă se folosesc conducte neizolate, cordoane sau cabluri în curent alternativ;
- $I_c > 140$  A, dacă se folosesc cabluri în curent continuu.

Pentru situațiile limită, cărora le-ar corespunde în urma corecției cu coeficientul  $a$ , secțiuni mai mici decît cele menționate mai sus, alegerea se va face considerînd la final  $a = 1$ .

Coeficientul de corecție  $K$  al condițiilor de răcire se determină în mod diferit, după tipul conductei:

a) În cazul conductelor neizolate și izolate, pozate la temperaturi ale mediului ambiant diferite de  $+25^\circ\text{C}$ , coeficientul de corecție al condițiilor de răcire este

$$K = K_1, \quad (4.35)$$



Coefficientul de corecție  $K_1$  a intensității maxime admise la conducte în funcție de temperatura admisă pe conductor și temperatura mediului ambiant [32]

Temperatura admisă pe conductor [°C]	Temperatura mediului ambiant [°C]										
	-5	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
60 (conduce cu izolație din cauciuc)	1,250	1,195	1,135	1,070	1	0,926	0,845	0,757	0,655	0,535	-
70 (conduce neizolate, conducte cu izolație din PVC)	1,200	1,156	1,110	1,053	1	0,943	0,884	0,818	0,746	0,667	0,471

Notă. Dacă pe un traseu există porțiuni mai mari de 10 m care trec prin medii cu temperaturi diferite, se va aplica coeficientul de corecție corespunzător mediului cu temperatura cea mai ridicată.

în care  $K_1$  este coeficientul de corecție pentru temperaturi ale mediului ambiant diferite de +25°C, avînd valorile indicate în tabelul 4.34.

b) Pentru bare, intensitățile maxime admise (v. tab. 4.3) sînt valabile în următoarele condiții de funcționare și montaj:

— conductivitățile de referință sînt  $\sigma_{Cu} = 56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  pentru cupru și  $\sigma_{Al} = 35,1 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  pentru aluminiu;

— barele dreptunghiulare sînt montate pe muchie, iar traseul este orizontal;

— temperatura mediului ambiant barelor este de 35°C, iar temperatura barelor este de 65°C;

— barele sînt montate distanțat, astfel încît efectul de vecinătate nu se manifestă;

— altitudinea este de maximum 1 000 m;

— disiparea căldurii se face în mod natural etc. [65].

În figura 4.42, sînt reprezentate două situații de amplasare a barelor în pachete și sînt indicate notații pentru mărimea caracteristică.

Alte condiții de funcționare și montaj se iau în considerare în relația

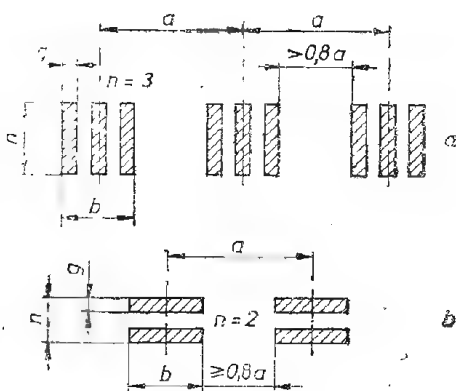


Fig. 4.42. Amplasarea barelor conductoare în pachete:

$a$  — cîte trei bare cu grosimea pe orizontală;  $b$  — cîte două bare cu lățimea pe orizontală.

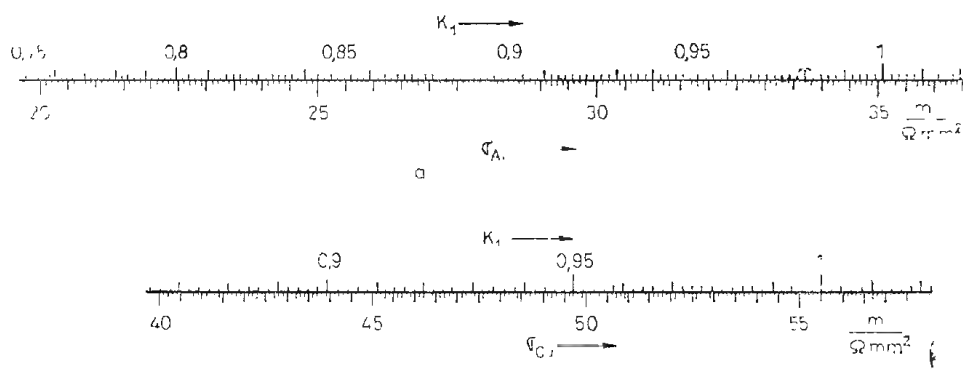


Fig. 4.43. Coeficientul de corecție  $K_1$  pentru variația conductivității barelor din:  
a - aluminiu; b - cupru.

(4.33), prin calcularea coeficientului de corecție al condițiilor de răcire cu formula :

$$K = K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 \quad (4.36)$$





în care:  $K_1$  este coeficientul de corecție pentru variația conductivității barelor, indicat în figura 4.43;

$K_2$  — coeficient de corecție pentru reducerea sarcinii la așezarea barelor cu lățimea pe orizontală sau pentru un traseu vertical mai lung de 2 m, dat în tabelul 4.35;

$K_3$  — coeficientul de corecție pentru temperaturi ale mediului ambiant și a barelor diferite de cele de referință, cu valori conform tabelului 4.36;

Tabelul 4.35

Coeficientul de corecție  $K_2$  pentru reducerea sarcinii la așezarea barelor cu lățimea pe orizontală sau pe un traseu vertical mai lung de 2 m

Numărul și poziția barelor	Lățimea unei bare. [mm]	Coeficientul $K_2$ pentru bare	
		vopsite	nevopsite
2 	50...200	0,85	0,80
3 	50...80	0,85	0,80
	100...120	0,80	0,75
4 	160	0,75	0,70
	200	0,70	0,65
2 	pînă la 200	0,95	0,90

**Coefficientul de corecție  $K_2$  pentru modificarea sarcinii barilor în cazul altor temperaturi ale mediului ambiant decât 35 °C și a altor temperaturi ale barilor decât 65 °C [65]**

Temperatura mediului ambiant [°C]		Temperatura barilor [°C]														
		50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
0	1,42	1,48	1,54	1,60	1,66	1,72	1,77	1,82	1,88	1,93	1,97	2,02	2,06	2,10	2,14	2,18
	1,33	1,40	1,46	1,53	1,59	1,65	1,71	1,76	1,81	1,86	1,91	1,96	2,01	2,05	2,08	2,12
10	1,28	1,31	1,38	1,45	1,52	1,57	1,64	1,69	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	1,99	2,04	2,07
15	1,14	1,22	1,29	1,36	1,43	1,50	1,56	1,62	1,68	1,74	1,79	1,84	1,88	1,93	1,97	2,01
20	1,05	1,13	1,21	1,28	1,36	1,43	1,49	1,56	1,61	1,67	1,72	1,78	1,82	1,87	1,91	1,95
25	0,94	1,03	1,11	1,19	1,27	1,34	1,41	1,47	1,54	1,60	1,65	1,71	1,76	1,81	1,86	1,90
30	0,82	0,92	1,01	1,09	1,18	1,26	1,34	1,40	1,47	1,53	1,58	1,64	1,69	1,75	1,79	1,83
35	0,68	0,79	0,90	1	1,09	1,17	1,25	1,32	1,39	1,45	1,51	1,57	1,62	1,67	1,73	1,78
40	0,55	0,67	0,79	0,89	0,99	1,09	1,17	1,24	1,32	1,38	1,45	1,50	1,56	1,62	1,67	1,72
45	0,39	0,54	0,66	0,77	0,89	0,98	1,07	1,16	1,23	1,30	1,37	1,43	1,49	1,55	1,61	1,66
50	—	0,35	0,52	0,66	0,78	0,89	0,98	1,07	1,15	1,22	1,29	1,36	1,42	1,48	1,54	1,59
55	—	—	0,36	0,51	0,65	0,77	0,87	0,97	1,05	1,18	1,21	1,28	1,34	1,41	1,47	1,53
60	—	—	—	0,33	0,50	0,64	0,76	0,86	0,96	1,04	1,12	1,20	1,27	1,34	1,40	1,47
65	—	—	—	—	0,33	0,50	0,64	0,75	0,86	0,96	1,04	1,07	1,19	1,26	1,33	1,39

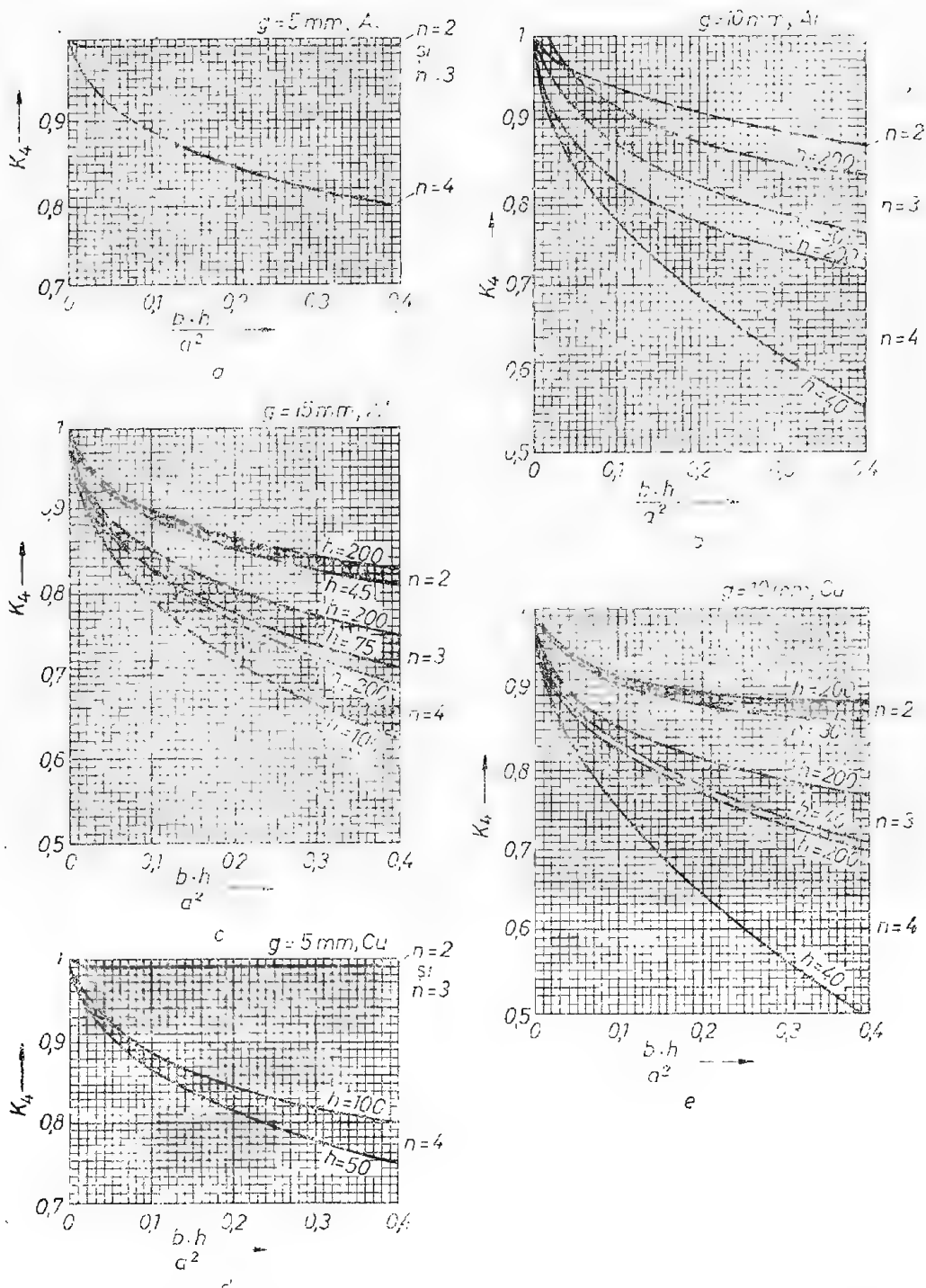


Fig. 4.44. Coeficientul de corecție  $K_4$  ținând seamă de efectul de vecinătate al curenților din bare dreptunghiulare amplasate la distanțe mici între ele:

a — la bare din Al,  $g = 5 \text{ mm}$ ; b — idem,  $g = 10 \text{ mm}$ ; c — idem,  $g = 15 \text{ mm}$ ; d — la bare din Cu,  $g = 5 \text{ mm}$ ; e — idem,  $g = 10 \text{ mm}$ .

- $K_4$  — coeficient de corecție ținând seama de efectul de vecinătate al curenților din bare amplasate la distanțe mici între ele, cu valori care se determină din graficele prezentate în figura 4.44;
- $K_5$  — coeficient de corecție pentru altitudini mai mari de 1000 m, indicat în tabelul 4.37;

Tabelul 4.37

Coeficientul de corecție  $K_5$  pentru reducerea sarcinii barelor la altitudini peste 1000 m

Altitudine [m]	Coeficientul $K_5$ pentru instalații montate	
	în interior	în exterior
1000	1	0,98
2000	0,99	0,94
3000	0,96	0,89
4000	0,9	0,83

- $K_6$  — coeficient de corecție pentru bare răcite prin curenți de aer, dat în tabelul 4.38 în funcție de viteza aerului de răcire.

Tabelul 4.38

Coeficientul de corecție  $K_6$  pentru bare răcite prin curent de aer produs de instalații electrice sau mecanice sau natural

Viteza aerului m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Coeficientul $K_6$	1,43	1,62	1,77	1,91	2,02	2,13	2,24	2,35	2,42	2,5

Observație. Se va ține seama și de coeficientul  $K_7$  pentru funcționarea la temperatura ce se stabilește în capsulare.

Pentru barele având secțiuni diferite de cele indicate în tabele sau grafice, însă ale căror perimetre nu diferă sau diferă puțin ca formă și valoare de ale acestora, încărcările admisibile se pot determina cu aproximație cu relația

$$I_{adm_1} = I_{adm_2} \sqrt{\frac{P_2 \cdot s_2}{P_1 \cdot s_1}}, \quad (4.37)$$

în care:  $I_{caus_2}$  este curențul admisibil al unei bare (dreptunghiulare sau țevă) sau al unui pachet de  $n$  bare (dreptunghiulare) în paralel pentru care nu au putut fi aplicate direct corecțiile;

$I_{adm_2}$  — curențul admisibil al unei bare sau al unui pachet de bare similare, pentru care corecțiile pot fi determinate direct din tabele sau grafice;

$p_1, p_2$  — perimetrele secțiunilor a câte unei singure bare dintre cele care se găsesc, respectiv nu se găsesc în tabele sau grafice;

$s_1, s_2$  — ariile secțiunilor corespunzătoare, conform semnificațiilor indicilor.

Relația (4.37) este aplicabilă barelor cu secțiuni dreptunghiulare avînd aceeași lățime și o grosime care diferă cu cel mult 50% de cea a secțiunilor din tabele, precum și barelor țevă avînd același diametru exterior însă grosimea peretelui diferind cu cel mult 50% de cea a secțiunilor din tabele.

La barele capsulate, coeficientul de corecție calculat conform relației (4.36) se multiplică prin factorul 0,8, pentru a ține seamă de condițiile speciale de răcire.

c) În cazul cablurilor, aplicarea corecției referitoare la condițiile de răcire se face diferențiat, după natura mediului — pămînt, aer sau apă — în care se pozează cablurile.

Pentru cablurile pozate în pămînt, corecția se determină cu relația

$$K = K_{c1} K_{c2} K_{c3}, \quad (4.38)$$

în care:  $K_{c1}$  este coeficientul de corecție în funcție de rezistența termică specifică a solului, avînd valorile conform tabelului 4.39. Rezistențele termice specifice ale diverselor tipuri de soluri sînt indicate în tabelul 4.40;

Tabelul 4.39

Coeficienții de corecție  $K_{c1}$  la cabluri de 0,4/1 kV cu izolație de hîrtie sau PVC, în funcție de rezistența termică specifică a solului.

Caracteristici ale cablurilor	Gama de secțiuni [mm <sup>2</sup> ]	Rezistența termică a solului [°C cm/W]						
		70	100	120	150	200	250	300
Cabluri cu un conductor (de e.c.) sau cu două conductoare	sub 25	1,09	1	0,95	0,88	0,80	0,73	0,69
	35... 95	1,11	1	0,94	0,87	0,78	0,71	0,66
	120... 240	1,12	1	0,94	0,86	0,78	0,70	0,65
	300... 500	1,13	1	0,93	0,86	0,77	0,69	0,65
Cabluri cu trei sau patru conductoare	sub 25	1,11	1	0,94	0,87	0,78	0,72	0,67
	35... 95	1,13	1	0,93	0,86	0,76	0,70	0,64
	120... 240	1,14	1	0,93	0,85	0,75	0,69	0,63
	300... 500	1,15	1	0,92	0,85	0,75	0,68	0,63
Cabluri monofazate în sistem trifazat, pozate alăturat sau în triunghi	sub 25	1,12	1	0,94	0,85	0,76	0,70	0,65
	35... 95	1,14	1	0,93	0,84	0,74	0,68	0,62
	120... 240	1,15	1	0,93	0,83	0,74	0,67	0,61
	300... 500	1,16	1	0,92	0,83	0,73	0,66	0,61

Tabelul 4.40

## Rezistențe termice specifice pentru diferite tipuri de soluri

Tipul de sol	Rezistența termică specifică a solului [°C cm/W]
Teren umplut cu zgură, uscat	550
Teren obișnuit, uscat; nisip uscat	310
Nisip, 10% umiditate	105
Nisip, 20% umiditate	75
Nisip umed (saturat)	55
Pământ nisipos, uscat	95
Pământ nisipos, 8% umiditate	60
Teren nisipos, cu humă sau lut	65
Teren umed sau mlăștinos	50
Rocă dură (granit, bazalt etc.)	25
Rocă poroasă (calcar, gresie etc.)	45
Cuarț	11

$K_{C2}$  — coeficientul de corecție în funcție de numărul cablurilor pozate alăturat în șanțuri sau tuburi dat în tabelul 4.41;

Tabelul 4.41

Coeficienți de corecție  $K_{C2}$  a curentului maxim admisibil în funcție de numărul cablurilor sau sistemelor trifazate de cîte trei cabluri monofazate la pozarea directă la pămînt [32]

Modul de pozare	Numărul cablurilor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Cabluri de curent continuu și cabluri cu mai multe conductoare pozate alăturat în pămînt la 70 cm, cu distanță liberă între cabluri 7 cm	1	0,85	0,75	0,68	0,64	0,6	0,56	0,53
Sisteme trifazate de cîte trei cabluri monofazate pozate alăturat în pămînt la 70 cm, cu distanță liberă între cabluri 7 cm	1	0,82	0,74	0,68	—	—	—	—
Sisteme trifazate de cîte trei cabluri monofazate, pozate în triunghi cu distanța între sisteme de 25 cm.	1	0,85	0,77	0,72	—	—	—	—
Cabluri cu mai multe conductoare pozate în țevi separate din oțel sau alt material, așezate în linie.	0,82	0,74	0,7	0,67	0,65	0,63	0,60	0,58

$K_{C3}$  — coeficientul de corecție în funcție de temperatura solului, dat în tabelul 4.42.

Coeficienți de corecție  $K_{c3}$  a curentului maxim admisibil pentru diferite temperaturi ale solului

Temperatura maximă a conductorului [°C]	Temperatura mediului ambiant [°C]					
	15	20	25	30	35	40
85	1,04	1	0,96	0,92	0,88	0,83
80	1,04	1	0,96	0,91	0,87	0,82
70	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,77
65	1,05(1*)	1	0,94	0,88	0,82	0,75
60	1,06	1	0,93	0,87	0,79	0,71

\* În cazul cablurilor cu izolație în hârtie

Temperatura solului se consideră egală cu valoarea medie a temperaturilor maxime din lunile de vară, la adâncimea de pozare. Dacă nu există date precise, această temperatură se adoptă astfel:

+24°C — pentru regiunile de șes;

+15°C — pentru regiunile de deal și de munte.

Se consideră neglijabilă variația temperaturii solului, în funcție de adâncimea de pozare, în domeniul 70 ... 120 cm. Pentru cablurile pozate mai aproape de nivelul solului decât 70 cm, se consideră o temperatură superioară cu 5°C față de temperatura de calcul.

Pentru pozare alăturată în aer, în diferite moduri și la temperaturi ale mediului ambiant diferite de +30°C, coeficientul de corecție al condițiilor de răcire este

$$K = K'_{c1} K'_{c2}, \quad (4.39)$$

în care:  $K'_{c1}$  este coeficientul de corecție în funcție de modul de pozare, indicat în tabelul 4.43;

$K'_{c2}$  — coeficientul de corecție în funcție de temperatura mediului ambiant, indicat în tabelul 4.44.

În cazul cablurilor expuse razelor solare, se va aplica suplimentar un coeficient de reducere egal cu 0,9.

Pentru cablurile de energie pozate în canale și tuncuri aglomerate, se recomandă verificarea condiției ca temperatura calculată a conductoarelor să fie inferioară temperaturii maxime admisibile; mersul de calcul al temperaturii conductoarelor este indicat în [43].



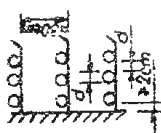
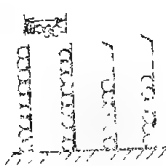
Dacă pozarea se face în apă, se consideră  $K = 1,15$ .

Secțiunea se poate schimba la trecerea cablului din apă în pământ sau în aer, în funcție de rezultatele calculelor.

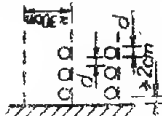
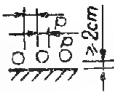

B. Determinarea secțiunii conductelor din condiția de stabilitate termică la supracurenții accidentali reprezintă o etapă de calcul, care se asociază celei corespunzătoare încălzirii în regim permanent (pct. A).



Coeficienții de corecție  $K_{cl}$  la pozarea în aer liber, pe pereți, grătare, paturi sau stâlpi, în temperatură de +30°C

Modul de pozare a cablurilor	a) Cabluri în curent continuu și cu mai multe conductoare în curent alternativ											
	Distanța liberă între cabluri = $d_{cablu}$ Distanța față de perete $\geq 2$ cm						Atingere reciprocă Atingere de perete					
	Numărul cablurilor						Numărul cablurilor					
	Figura	1	2	4	6	9	Figura	1	2	3	6	9
Cabluri pe pardoseală sau pe fundul unui canal. Pozare alăturată		0,95	0,90	0,88	0,85	0,84		0,90	0,84	0,80	0,75	0,73
Cabluri pe paturi (circulația aerului este împiedicată). Pozarea alăturată		0,95	0,90	0,88	0,85	0,84		0,95	0,84	0,80	0,75	0,73
nr. grătare		0,90	0,85	0,83	0,81	0,80		0,95	0,80	0,76	0,71	0,69
1		0,88	0,83	0,81	0,79	0,78		0,95	0,78	0,74	0,70	0,68
2												
3												
6												

1000000 4.45 (continuare)

a) Cabluri în curent continuu și cu mici saute conductoare în curent alternativ												
Distanța liberă față de cabluri = $d$ , cablu Distanța față de perete $\geq 2$ cm	Numărul caburilor						Figura	Atingerea reciprocă Atingerea de perete				
	1	2	4	6	9			1	2	3	6	9
1		1	0,98	0,96	0,93	0,92		0,95	0,84	0,80	0,75	0,73
2		1	0,95	0,93	0,90	0,89		0,95	0,80	0,76	0,71	0,69
3		1	0,94	0,92	0,89	0,88		0,95	0,78	0,74	0,70	0,68
6		1	0,93	0,90	0,87	0,86		0,95	0,76	0,72	0,68	0,68
Cabluri pe stâlpi sau pe perete Pozare unul sub altul								0,95	0,78	0,73	0,68	0,66

Notă: La distanța față de perete  $\geq 2$  cm și distanța între cabluri  $\geq 2d$ ;  $k'_1 = 1$

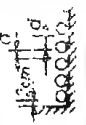
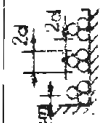

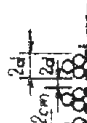


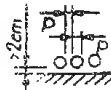

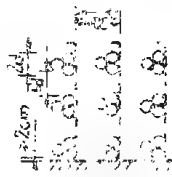
b) Cabluri monofazate în sistem trifazat pozate câte trei									
Pozarea celor trei cabluri									
Modul de pozare a cablurilor	alăturat			în triunghi					
	Distanța liberă între cabluri — $d_{cablu}$ Distanța față de perete $\geq 2$ cm			Distanța liberă între sisteme — $2d_{cablu}$ Distanța față de perete $\geq 2$ cm					
	Numărul sistemelor trifazate de câte trei cabluri monofazate								
	Figura	Numărul cablurilor			Figura	Numărul cablurilor			
		1	2	3		1	2	3	
Cablu pe pardoseală sau pe fundul unui canal. Pozare alăturată		0,92	0,89	0,88		0,95	0,90	0,88	
Cablu pe patuni (circulația aerului este împiedicată). Pozare alăturată		0,92	0,89	0,88		0,95	0,90	0,88	
1		0,87	0,84	0,83		0,90	0,85	0,83	
2		0,84	0,82	0,81		0,88	0,83	0,81	
3		0,82	0,80	0,79		0,86	0,81	0,79	
6									
Cablu pe grătare. Pozare alăturată		1	0,97	0,96		1	0,98	0,96	
1		0,97	0,94	0,93		1	0,95	0,93	
2		0,96	0,93	0,92		1	0,94	0,92	
3		0,94	0,91	0,90		1	0,93	0,90	
6									

Tabela 4.43 (continuare)

c) Cabluri monofazate în sistem trifazat pozate ete trei				
Pozarea celor trei cabluri				
alăturat		în triunghi		
Distanța liberă între cabluri $d_{cable}$ Distanța între perete $\geq 2$ cm		Distanța liberă între sisteme $\geq 4d_{cable}$ Distanța față de perete $\geq 2$ cm		
Numărul sistemelor trifazate de ete trei cabluri monofazate		Numărul cablurilor		
Numărul cablurilor		Numărul cablurilor		
Figura		Figura		
	0,04	0,91	0,89	
	0,80	0,86	0,81	
		A distanța față de perete 2 cm și între cabluri egale cu 2 d, $K_{cl} = 1$		
				
		1	1	1
		1	1	1
		1	1	1

**Coeficienți de corecție  $K'_{C2}$  a curentului maxim admisibil pentru diferite temperaturi ale mediului ambiant**

Temperatura maximă a conductorului [°C]	Temperatura mediului ambiant [°C]									
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
80	1,14 (1,05)	1,09 (1,05)	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,78	0,71	0,63
70	1,17 (1,06)	1,12 (1,06)	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61	0,50
65	1,19 (1,0)	1,13 (1,0)	1,07 (1,0)	1	0,93	0,85	0,76	0,65	0,53	0,38
60	1,22 (1,00)	1,15 (1,0)	1,08 (1,0)	1	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41	—

**Notă.** Coeficienții sînt valabili pentru cablurile cu izolație din PVC sau hîrtie, cu observația că cifrele din paranteză se referă numai la izolația din hîrtie.

a) Stabilitatea termică a conductelor la curenți de suprasarcină, se consideră asigurată dacă

$$I_{C adm} \geq \frac{I_{rt}}{1,5}, \quad (4.40)$$

$I_{rt}$  fiind curentul de reglaj al releei sau declanșatorului termic montat pe porțiunea de rețea considerată (numai la circuite și coloane protejate prin relee sau declanșatoare termice).

b) Pentru curenții de scurtcircuit, condiția de stabilitate termică se exprimă diferit, în funcție de felul dispozitivului de protecție.

Astfel, dacă protecția este asigurată prin siguranțe fuzibile, condiția de stabilitate termică este dată, în cazul instalațiilor electrice de forță, de relația:

$$I_{C adm} \geq \frac{I_{sc}}{3}, \quad (4.41)$$

iar în cazul instalațiilor electrice de iluminat și prize

$$I_{C adm} \geq \frac{I_{sc}}{(0,3 \dots 0,6)}; \quad (4.42)$$

dacă posibilitatea apariției suprasarcinilor este minimă la anumite instalații electrice de iluminat și prize (de ex. în cazul utilizării corpurilor de iluminat cu tuburi fluorescente), intensitatea maxim admisă a curentului permanent prin conductoare se obține cu relația

$$I_{C adm} \geq I_{n,r}. \quad (4.43)$$

În cazul protecției la scurtcircuit realizate prin întreruptoare automate cu relee sau declanșatoare electromagnetice cu acțiune instantanee, stabilitatea termică a conductelor este asigurată dacă

$$I_{c adm} \geq \frac{I_{re}}{4,5}. \quad (4.44)$$

Intensitățile maxime admise prin conducte se determină din condițiile (4.33), (4.40) și una din relațiile (4.41) ... (4.44). Din tabelele 4.2 ... 4.5 rezultă secțiunea conductoarelor.

C. Verificarea secțiunii conductelor se face într-o primă etapă la următoarele solicitări :

— rezistența mecanică, exprimată prin secțiunile minime admise conform tabelului 4.32 ;

— încălzirea în regiun de scurtă durată la pornire, care se verifică prin intermediul densității de curent la pornire

$$J_p = \frac{I_p}{s} \quad (4.45)$$

sau

$$J_p = \frac{I_p}{s} \quad (4.46)$$

și care trebuie să fie pentru conductoare din aluminiu

$$J_p \leq (J_{p adm})_{Al} = 20 \text{ A/mm}^2, \quad (4.47)$$

iar pentru conductoare din cupru

$$J_p \leq (J_{p adm})_{Cu} = 35 \text{ A/mm}^2. \quad (4.48)$$

O ultimă verificare pentru secțiunile determinate se realizează prin calculul pierderilor de tensiune (v. subcap. 4.12).

D. Secțiunea conductorului de nul de lucru se stabilește în corolație cu cea a conductoarelor de fază, după cum urmează :

— egală cu secțiunea conductorului de fază în cazul circuitelor de lumină trifazate cu patru conductoare, până la o secțiune de 16 mm<sup>2</sup> a conductoarelor de fază și a circuitelor monofazate (v. tab. 4.32, pct. 8 și 9) ;

— cel puțin 50% din secțiunea conductoarelor de fază și astfel încât să corespundă intensității maxime de curent posibile în conductele respective, în cazul instalațiilor de forță ;

— conform tabelului 4.32, punctul 10, pentru circuite de lumină trifazate cu patru conductoare, începînd cu secțiunea conductorului de fază de 25 mm<sup>2</sup>.

### 4.11.3. MARCAREA CONDUCTELOR [32]

Conductele instalațiilor electrice, precum și barele de distribuție se marchează prin culoarea izolației, tub varniș colorat montat la capete ș.a., în scopul asigurării unei ușoare identificări în caz de verificări și reparații, cît și pentru evitarea pericolelor de accidente prin electrocutare.

Culorile recomandate pentru marcarea conductelor sînt următoarele :

- verde/galben pentru conductele de protecție (nul sau pămînt) ;
- alb sau cenușiu deschis pentru conductele de nul de lucru ;
- albastru deschis pentru conductele neutre și mediane.

Conductele fazelor se marchează prin culori diferite de cele de mai sus și diferite între ele. Se recomandă utilizarea următoarelor culori pentru marcarea conductelor de fază : negru, albastru închis, maro.

În întreaga instalație electrică din cadrul unei clădiri se va menține aceeași culoare de marcă pentru fiecare conductă de fază.

Barele de neutru, de legare la pămînt, cele colectoare și de alimentare (bucle) montate în panouri, dulapuri de comandă, semnalizare, măsură, protecție, automatizare etc. se marchează prin culori și simboluri respectînd prevederile STAS 4936 -71.

#### 4.11.4. MONTAREA CONDUCTELOR

Definitivarea traseelor conductelor și a condițiilor de montare se face în corelație cu schema cu amplasamente și trasee. Conform acestui plan și a tehnologiei de execuție, s-au luat în considerare anumite condiții de montare la calculul secțiunii conductoarelor (par. 4.11.2, pct. A).

După determinarea secțiunilor conductoarelor și definitivarea tipurilor de conducte utilizate se poate trece la :

- alegerea tuburilor de izolație și protecție, conform lucrării [32] ;
- definitivarea dimensiunilor la grătarele, paturile sau stelajele de cabluri (v. tab. 4.43 și [32]) ;
- alegerea tipului constructiv de tablouri de distribuție și a elementelor componente ale acestora, întocmirea planurilor de montare a tablourilor de distribuție [33].

Alegerea, amplasarea și montarea materialelor și echipamentelor trebuie să se facă în condițiile reglementate de [32].

Se va evita amplasarea instalațiilor electrice (conducte, cabluri, tuburi etc.) pe trasee comune cu acelea ale conductelor altor instalații. În cazul cînd acest lucru nu este posibil, instalațiile electrice se vor monta :

- deasupra conductelor de apă, de canalizare și de gaze lichefiate ;
- sub conductele de gaze naturale și sub conductele calde, cu excepția cablurilor pozate în pămînt pentru care se admite și montarea deasupra conductelor calde, cu condiția realizării unei izolări termice a acestora pe toată zona intersecției, plus cîte 1 m de o parte și de alta, astfel încît pe suprafața ei supratemperatura față de sol să nu depășească 10°C.

Montarea instalațiilor electrice sub conducte sau utilaje pe suprafața cărora pot să apară condensatii este interzisă. Fac excepție instalațiile electrice executate din materiale, care în conformitate cu normele de produse respective, sînt rezistente la astfel de condiții.

Distanțele între conductele, cablurile, barele, tuburile și accesoriiile unei instalații electrice, precum și de la acestea pînă la elementele altor instalații sau construcții, trebuie să depășească valorile minime indicate în tabelul 4.45.

Tabelul 4.45

Distanțe minime între elementele instalației electrice și de la acestea până la elementele altor instalații sau de construcție

Nr. crt.	Elementul de la care se măsoară distanța	Distanța minimă* în cm, față de:									
		Conducte, bare, cabluri din același circuit sau din alte circuite		Conducte cu fluide incombustibile $t^{\circ} \leq +40^{\circ}C$		Conducte cu fluide incombustibile $t^{\circ} > +40^{\circ}C$		Conducte cu fluide combustibile		Elemente de construcție***	
		Trasee paralele	Intersecții	Trasee paralele	Intersecții	Trasee paralele	Intersecții	Trasee paralele	Intersecții	Incombustibile	Combustibile
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Conducte neizolate, pe izolatoare, pe pereți	10**	10**	10**	10**	10**	10**	100	100	10**	20
2	Conducte izolate, pe izolatoare, pe pereți	5**	5**	5**	5**	200	150	50	50	5**	10**
3	Bare electrice neizolate	5	5	5	5	5	5	50	50	5	10
4	Conducte în tuburi: montate aparent	0	0	5	3	100	50	10	5	0	Tub metallic, 0
5	Conducte cu izolație montate aparent și manta montate îngropat	0	0	5	3	20	5	10	5	0	Tub PVC, 3
6	Cabluri	0	0	5	3	100	50	10	5	0	3
		0	0	5	3	20	5	10	5	0	3
Conform prescripției MDP P107/1978											

## Observații.

\* Distanțele minime se vor măsura de la suprafețele exterioare ale conductelor aeriene, cablurilor, barelor, tuburilor, dozelor etc.

\*\* Distanța minimă în cazul conductelor aeriene montate pe pereți în exterior va fi de 15 cm.

\*\*\* Distanțele minime de la conductele aeriene până la alte elemente de pe traseu decât cele din tabel se vor stabili conform indicațiilor din [32].

Distanțele minime între elementele instalației externe și elementele instalației de paratrăsnet se iau conform [29].



## 4.12. PIERDERI DE TENSIUNE

Circulația curenților prin ramurile rețelelor electrice determină pierderi de tensiune în lungul acestora, deoarece atât conductoarele cât și echipamentele electrice făcând parte din circuit, prezintă anumite rezistențe sau impedanțe electrice după cum curentul este continuu, respectiv alternativ.

Pierderea de tensiune pe o linie este definită de relația

$$\Delta U \% = \frac{U_1 - U_2}{U_n} \cdot 100, \quad (4.49)$$

în care:  $U_1$  este tensiunea la începutul liniei;

$U_2$  — tensiunea la capătul liniei;

$U_n$  — tensiunea nominală a liniei.

Pentru o funcționare normală a receptoarelor, se impune ca valorile oscilațiilor de tensiune, de la sursă până la bornele acestora, să se încadreze între anumite limite. În tabelul 4.46 sînt indicate pierderile de tensiune maxime admise, în procente față de tensiunea nominală de utilizare, conform prevederilor din normativul în vigoare [32]; aceste valori se iau în considerare în condițiile de consum maxim, pentru care se dimensionează ansamblul distribuției.

Tabelul 4.46

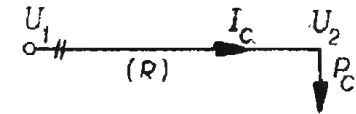
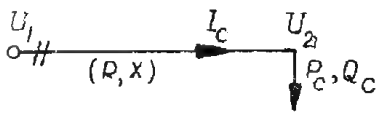
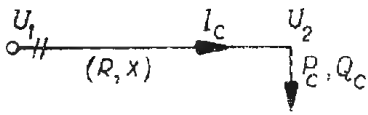
**Pierderile de tensiune maxime admise, în procente față de tensiunea nominală de utilizare în instalațiile electrice de joasă tensiune**

Situația de alimentare cu energie electrică	Felul instalației			AME
	Ilumi- nat	Forță		
		regim permanent	regim de pornire	
Consumator alimentat din rețeaua de joasă tensiune a furnizorului	3	5	12 sau conform valorii maxime admise de receptor	conform valorilor maxime admise de aparate
Consumator alimentat prin posturi de trans- formare sau din centrale proprii	8	10		
Receptoare : — izolate și îndepărtate ; — alimentate cu tensiune redusă (sub 42 V)	10	—		
Mașini de ridicat și transportat	—	12(c.a.) 15(c.c.)		

Calculul pierderilor de tensiune se face pe tronsoanele rețelei (coloane, circuite, porțiuni ale liniilor principale) cu relațiile de calcul indicate în tabelul 4.47, în care:  $R$  și  $X$  reprezintă rezistența, respectiv reacțanța tronsonului;  $I_c$ ,  $P_c$  și  $Q_c$  — curentul, puterea activă și puterea reactivă

Tabelul 4.47

Calculul pierderilor de tensiune pentru linii electrice cu sarcini concentrate la capăt

Schema electrică	$\Delta U\%$
 <p>curent continuu</p>	$\frac{2RI_c}{U_n} 100$
 <p>curent alternativ monofazat</p>	$2 \frac{RP_c \times XQ_c}{U_n^2} 100$
 <p>curent alternativ trifazat</p>	$\frac{RP_c \times XQ_c}{U_n^2} 100$

cerute pe tronsonul respectiv (cuprins între punctul de racord la sursa de alimentare și punctul de conectare al sarcinii concentrate).

Pierderea de tensiune totală, pe o direcție de distribuție, se obține prin însumarea pierderilor parțiale de pe diferitele tronsoane.

Pentru calculul parametrilor electrici  $R$  și  $X$  ai liniilor electrice de joasă tensiune, având secțiunile  $s$  (în  $\text{mm}^2$ ) și lungimile  $l$  (în  $\text{km}$ ) sînt indicate în tabelul 4.48 relații de calcul simplificate (aproximative); se

Tabelul 4.48

Relații de calcul pentru parametrii electrici  $R$  și  $X$  ai liniilor de joasă tensiune

Tipul linii	Rezistența $R$ [mΩ]	Reactanța $X$ [mΩ]
Cabluri	$\text{Cu: } \frac{17,9 \cdot 10^3}{s} l$ $\text{Al: } \frac{28,6 \cdot 10^3}{s} l$	$(75 \dots 100) l$
Linii electrice aeriene		$(300 \dots 400) l$
Bare		$(100 \dots 300) l$

pot folosi și relațiile din tabelele 3.36 ... 3.40, precum și valorile rezistențelor și reactanțelor specifice (raportate la 1 km lungime) indicate în [24] pentru bare, cabluri și linii electrice aeriene.

În cazul rețelelor cu linii principale buclate (v. subcap. 4.3), calculul pierderilor de tensiune este mai complicat [5], necesitînd transformarea

prin transfigurare a rețelei reale într-una cu linie principală alimentată la ambele capete. În continuare se determină punctul de separație al sarcinilor, punct în care linia se poate întrerupe, fiind astfel echivalentă cu două porțiuni alimentate fiecare de la un singur capăt.

Calculul pierderilor de tensiune se face luând în considerare secțiunile conductoarelor determinate conform condițiilor de la paragraful 4.11.2. Având în vedere că, scopul acestui calcul este de a verifica dacă secțiunile alese asigură pînă la bornele receptoarelor o pierdere de tensiune inferioară valorilor maxime admise, se recomandă efectuarea calculului numai pentru receptoarele mai încărcate și mai îndepărtate.

În cazul în care pierderile de tensiune calculate rezultă mai mari decît cele indicate în tabelul 4.46, se alege o secțiune superioară pentru circuitul receptorului (fără a depăși secțiunea coloanei din care se ramifică) sau pentru tronsonul cu ponderea cea mai mare în pierderea de tensiune totală și se reiau calculele de determinare a pierderilor de tensiune. De subliniat că în baza metodei de proiectare dezvoltată, nu se impune în asemenea cazuri o revenire și asupra aparatelor de protecție și comutație.

### 4.13. TABLOUL GENERAL DIN POSTUL DE TRANSFORMARE

Organizarea posturilor de transformare, din punct de vedere electric, este indicată prin schemele de alimentare din figura 4.45; alături simbolurilor grafice ale echipamentelor s-au trecut indicativele tehnice de catalog, în scopul evidențierii tipurilor de echipamente utilizate (v. subcap. 3.4).

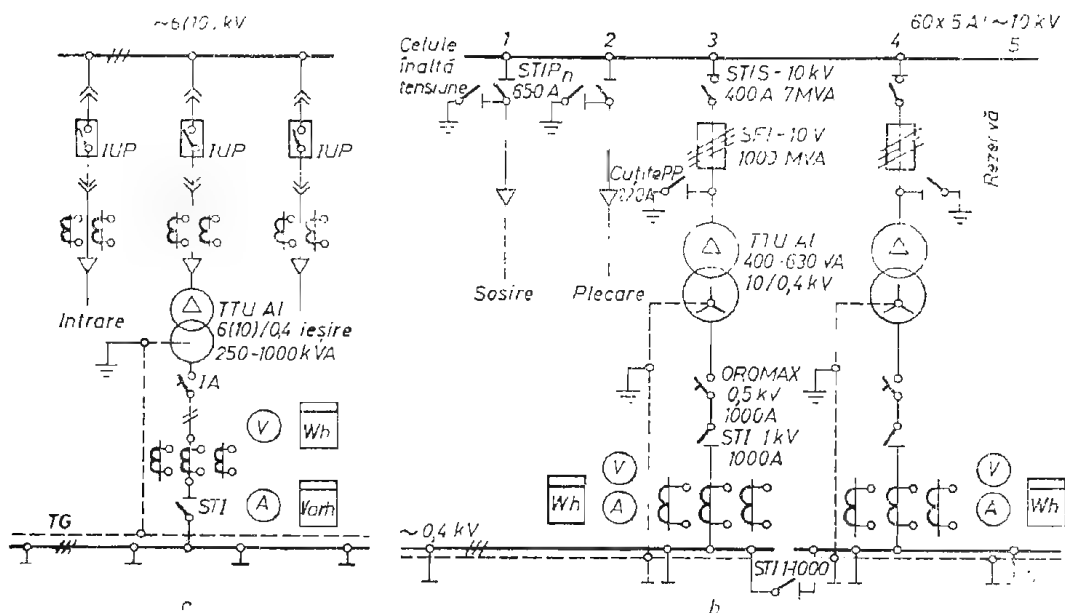


Fig. 4.45. Scheme de alimentare pentru posturi de transformare:

a — cu un singur transformator; b — cu două transformatoare.

Tabloul general de joasă tensiune este prevăzut la intrare cu întreruptor și separator, cuprinzând un sistem simplu sau dublu de bare, plecărilor pe joasă tensiune etc.

În posturile de transformare se prevede o rezervă „caldă” de un transformator, pentru toți consumatorii cărora le corespunde un nivel de rezervare 1 sau 2 în căile de alimentare (v. subcap. 1.3). Conectarea în circuit a transformatorului de rezervă se face automat sau manual, conform duratelor de realimentare corespunzătoare (tab. 1.2). În general, se caută ca toate transformatoarele dintr-un post să fie de același tip.

La tablourile generale se prevăd întreruptoare generale automate cu protecție maximală în următoarele situații [32]:

— în postul de transformare propriu, maneta întreruptorului automat de înaltă tensiune nu este la dispoziția consumatorului;

— racordarea tabloului general al instalațiilor industriale cu puteri instalate peste 20 kW inclusiv și tablourile șantierelor se face direct la rețeaua de joasă tensiune a furnizorului (v. par. 4.10.1.).

Întreruptorul general automat al tabloului general se alege astfel încât să nu declanșeze la lipsa de tensiune cauzată de funcționarea AAR-urilor din rețeaua furnizorului.

Alegerea dispozitivelor de protecție din postul de transformare, trebuie să se facă în așa fel încât să se coreleze protecția de joasă tensiune (la consumator), cu protecția instalației de înaltă tensiune (de racord), asigurându-se și în acest caz selectivitatea protecției. Pentru aceasta caracteristicile de protecție ale aparatelor de înaltă tensiune (siguranțe fuzibile, întreruptoare automate) se transpun pe partea de joasă tensiune, raportând curenții corespunzători diferiților timpi de acționare cu relația

$$I''_n = -\frac{U_n}{U_j} \cdot I_n, \quad (4.50)$$

în care  $I''_n$  este curentul de înaltă tensiune  $I_n$  raportat la joasă tensiune,  $U_n$  — tensiunea nominală primară și  $U_j$  — tensiunea nominală secundară a transformatorului de putere.

În acest mod, se pot analiza caracteristicile de protecție ale aparatelor instalate la tensiuni diferite, luându-se ca referință valorile curenților la joasă tensiune.

Coloana de alimentare a tablourilor generale este de regulă prevăzută cu următoarele aparate de măsură:

- contor de energie activă;
- ampermetre montate pe fiecare fază, pentru a se putea urmări nesimetria încărcărilor;
- voltmetru pentru măsurarea tensiunii, cu posibilități de comutare pe cele trei faze.

Contoarele se racordează fie direct, la curenți sub 30 A la alimentarea monofazată și sub 20 A la alimentare trifazată, fie prin intermediul transformatoarelor de măsură, peste aceste limite indicate.

Ampermetrele se racordează prin intermediul transformatoarelor de măsură. Pentru a face posibilă o citire ușoară a intensității curentului normal și a eventualelor supraîncărcări se pune condiția

$$I_{nA} \approx 1,3 I_c. \quad (4.51)$$

## 4.14. CURENȚI DE SCURTCIRCUIT

### 4.14.1. GENERALITĂȚI

Curenții de scurtcircuit produc în instalațiile electrice următoarele efecte :

— termice, care conduc la încălzirea puternică a conductelor, a contactelor și a altor părți conductoare ale aparatelor, a înfășurărilor transformatoarelor și prin aceasta la distrugerea izolației, la arderea și eventual sudarea contactelor aparatelor de comutație ;

— dinamice (mecanice), datorate efectului electrodinamic al curenților, care duc la îndoirea barelor, deteriorarea aparatelor, bobinelor etc.

Curentul de scurtcircuit total, reprezentat prin curba 1, în figura 4.46, se poate considera ca rezultat al suprapunerii a două componente, una periodică (curba 2), avind valoarea eficace  $I_{scp}$ , corespunzătoare impedanței reduse care a produs scurtcircuitul și o alta  $i_a$ , tranzitorie aperiodică (curba 3), care are valoarea maximă în momentul producerii scurtcircuitului și scade rapid (în 3—4 perioade) pînă la zero.

Valoarea instantanee maximă  $i$ , din prima perioadă a curentului total de scurtcircuit se numește *curent de scurtcircuit de șoc*.

Valoarea eficace a curentului permanent de scurtcircuit  $I_{scp}$  prezintă o tendință de reducere în timp, ca urmare a creșterii impedanței echivalente a generatoarelor, în timpul scurtcircuitului. În rețelele electrice de joasă tensiune această reducere este neglijabilă, deoarece impedanțele generatoarelor și rețelelor de înaltă tensiune sînt mici în raport cu cele ale transformatoarelor și rețelelor de joasă tensiune, astfel încît valoarea eficace a curentului permanent de scurtcircuit se poate considera constantă. Pentru scurtcircuit trifazat aceasta se calculează cu relația

$$I_{scp}^{(3)} = \frac{U_c}{\sqrt{3}Z} ; \quad (4.52)$$

pentru scurtcircuitul bifazat

$$I_{scp}^{(2)} = \frac{U_c}{2Z} , \quad (4.53)$$

iar pentru cel monofazat

$$I_{scp}^{(1)} = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z + Z_0)} , \quad (4.54)$$

în care :  $U_n$  este tensiunea nominală de linie la barele de joasă tensiune a postului de transformare, în V (400V) ;

$Z$  — impedanța unei faze a rețelei ;

$Z_0$  — impedanța conductorului neutru.

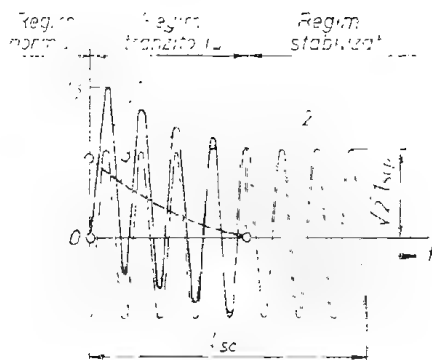


Fig. 4.46. Variația și mărimile caracteristice ale curentului de scurtcircuit :

1 — curentul total ; 2 — componenta periodică ; 3 — componenta aperiodică.

Dacă impedanțele se exprimă în  $m\Omega$  și  $U_n$  în V, curentul de scurtcircuit calculat cu relațiile (4.52) ... (4.54) se obține în kA.

Din examinarea relațiilor de mai sus, se poate observa că valoarea eficace maximă a curentului permanent de scurtcircuit apare în cazul scurtcircuitului trifazat, această situație fiind luată în considerare în cele care urmează.

#### 4.14.2. CALCULUL CURENȚILOR DE SCURT-CIRCUIT

Pentru verificarea conductelor și echipamentelor electrice la solicitările curenților de scurtcircuit, este necesar să se determine curentul de scurtcircuit de șoc  $i_s$ , care produce efectul dinamic maxim și curentul echivalent termic al curentului de scurtcircuit  $I_{sc,t}$ , care produce efectul termic.

În primul rând, se calculează curenții permanenți de scurtcircuit cu relația (4.52), pentru diversele puncte caracteristice de scurtcircuit din rețeaua de joasă tensiune. Impedanța  $Z$  a unei faze se determină prin însumarea fazorială a tuturor impedanțelor înseriate — a sistemului, transformatoarelor, conductelor, bobinelor de reacțanță etc., calculate pe baza relațiilor indicate în subcapitolul 3.7 sau conform [8].

Valoarea eficace inițială  $I_{sc,0}$  a componentei alternative a curentului de scurtcircuit este în general

$$I_{sc,0} = 1,1 I_{sc,p}, \quad (4.55)$$

iar în cazul în care la locul scurtcircuitului sînt conectate nemijlocit motoare asincrone, avînd suma curenților nominali  $I_{n\Sigma}$ ,

$$I_{sc,0} = I_{sc,p} + 4I_{n\Sigma}. \quad (4.56)$$

Curentul de scurtcircuit de șoc se calculează cu relația

$$i_s = k_s \sqrt{2} I_{sc,0}, \quad (4.57)$$

în care  $k_s$  este coeficientul de șoc depinzînd de raportul dintre rezistența  $R_\Sigma$  și reacțanța  $X_\Sigma$  totale de scurtcircuit (v. fig. 3.27).

Curenții de scurtcircuit de șoc sînt reduși în rețelele protejate prin siguranțe fuzibile, datorită efectului limitator al acestora. Valoarea reală  $i_s$  a curentului de scurtcircuit de șoc după siguranță (în sensul transformator-receptor) poate fi determinată cu diagrama din figura 4.47, pe baza curentului de șoc  $i_s$  considerînd siguranța șuntată și a tipului siguranței respective.

Curentul echivalent termic al curentului de scurtcircuit  $I_{sc,t}$  se definește, în curent alternativ, ca valoarea eficace constantă a unui curent alternativ, care într-o secundă dezvoltă într-un element de circuit o căldură egală cu cea pe care ar dezvolta-o curentul de scurtcircuit real pe toată durata defectului. Calculul curentului echivalent termic se face cu relația

$$I_{sc,t} = I_{sc,0} \sqrt{(m+n)t_{sc}/t_c}, \quad (4.58)$$

în care:  $m$  este coeficientul de influență a componentei aperiodice, a cărui valoare se determină din nomograma prezentată în figura 3.31,  $a$ , în funcție de  $k_s$  și  $t_{sc}$ ;

- " — coeficientul de influență a variației în timp a componentei aperiodice, care se obține din nomograma prezentată în figura 3.31, *b*, în funcție de  $t_{sc}$  și raportul  $I_{sc0}/I_{scp}$ ;
- $t_{sc}$  — durata scurtcircuitului, egală cu timpul de acționare al aparatelor de protecție, în s;
- $t_{ec} = 1$  s, timpul corespunzător curentului echivalent termic.

În curent continuu, valoarea curentului de scurtcircuit de soc poate fi considerată egală [23] cu a curentului permanent de scurtcircuit

$$i_y = I_{scp} = \frac{U}{R}, \quad (4.59)$$

în care  $R$  reprezintă rezistența totală de scurtcircuit, calculată în mod similar cu componenta rezistivă a impedanței de scurtcircuit, iar curentul echivalent termic este

$$I_{sc1} = I_{scp} \sqrt{t_{sc}/t_{ec}}, \quad (4.60)$$

toate mărimile avînd semnificațiile de mai sus.

#### 4.14.3. VERIFICAREA APARATELOR LA ACȚIUNEA CURENȚILOR DE SCURT-CIRCUIT

Aparatele de protecție la scurtcircuit trebuie verificate la următoarele solicitări:

- capacitatea de rupere;
- stabilitatea dinamică;
- stabilitatea termică.

a) *Capacitatea de rupere* a dispozitivelor de protecție la scurtcircuit  $I_r$  trebuie să fie cel puțin egală cu valoarea curentului de scurtcircuit, care ar putea să apară în punctul în care dispozitivul este montat [32]. Deoarece timpul de întrerupere al scurtcircuitelor prin întreruptoare automate cu

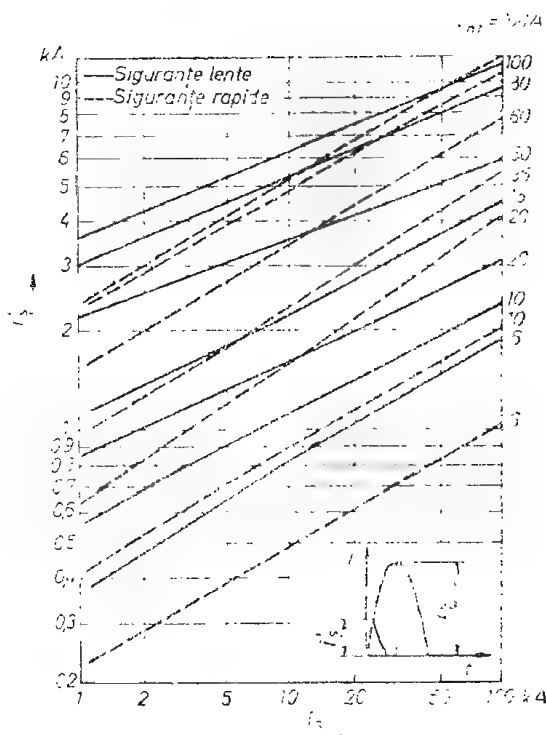


Fig. 4.47. Efectul limitator al siguranței unipolare cu filet asupra curentilor de soc.

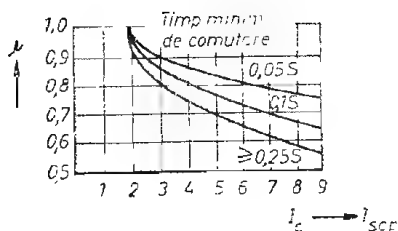


Fig. 4.48. Diagrama coeficientului  $\mu$  de descreștere a curentului inițial de scurtcircuit.

declanșatoare sau relee electromagnetice este, în general,  $t_{sc} = (0,05 \dots 0,1)$  s, se poate considera îndeplinită condiția de mai sus dacă

$$I_r \geq I_{sc0}. \quad (4.61)$$

Pentru alte tipuri de aparate, valoarea curentului de scurtcircuit care trebuie întrerupt se poate calcula cu relația

$$I_{scf} = \mu I_{sc0}, \quad (4.62)$$

în care  $\mu$  este coeficientul de descreștere a curentului inițial de scurtcircuit, până la începutul separării contactelor, rezultând din diagrama prezentată în figura 4.48.

În acest caz, capacitatea de rupere trebuie să îndeplinească condiția

$$I_r \geq I_{scf}. \quad (4.63)$$

Pe de altă parte caracteristica de funcționare a dispozitivelor de protecție trebuie să asigure întreruperea circuitului înainte de apariția pericolului de deteriorare a instalației electrice protejate.

b) *Stabilitatea dinamică la scurtcircuit* a aparatelor reprezintă curentul maxim de șoc pe care acestea îl pot suporta din punct de vedere al rezistenței mecanice.

Pentru întreruptoare automate se indică în cataloage curentul limită dinamic  $I_{dt}$ , stabilitatea dinamică fiind realizată dacă

$$I_d > i. \quad (4.64)$$

c) *Stabilitatea termică la scurtcircuit* a elementelor de rețea se referă la încălzirea acestora până la valorile maxime admise în regim de scurtcircuit.

Aparatelor le este caracteristic un curent limită termic  $I_{tt}$ , care poate fi suportat de aparat un anumit interval de timp  $t_{tt}$  (de obicei 1 ; 5 sau 10 s). Condiția de stabilitate termică se exprimă prin relația

$$I_{dt} \geq \frac{I_{scf}}{\sqrt{t_{dt}/t_{sc}}}, \quad (4.65)$$

în care  $t_{sc} = 1$  s.

#### 4.14.4. VERIFICAREA CONDUCTELOR LA ACȚIUNEA CURENȚILOR DE SCURT-CIRCUIT

Stabilitatea dinamică se verifică în cazul barelor, calculând efortul unitar la încovoiere  $\sigma$  [23], care trebuie să fie mai mic decât cel admis

$$\sigma < \sigma_{adm}, \quad (4.66)$$

pentru materialele uzuale indicându-se [32] următoarele valori ale eforturilor unitare la încovoiere  $\sigma_{adm}$  maxim admise:

- cupru . . . . . 1 400 daN/cm<sup>2</sup>;
- aluminiu moale . . . . . 700 daN/cm<sup>2</sup>;



- aluminiu tare . . . . . 900 daN/cm<sup>2</sup>;
- oțel . . . . . 1 600 daN/cm<sup>2</sup>.

Stabilitatea termică a conductelor de joasă tensiune se consideră îndeplinită dacă secțiunea verifică relația

$$s \geq I_{scp} \sqrt{t_{sc}} / C, \text{ mm}^2, \quad (4.67)$$

în care  $I_{scp}$  se exprimă în A,  $t_{sc}$  în s, iar  $C$  este un coeficient care depinde de tipul și materialul conductelor, indicat în tabelul 4.49. În același tabel sînt date și temperaturile maxime admise în conducte, în regim de scurtcircuit.

Tabelul 4.49

Valorile temperaturii maxime admise și a coeficientului  $C$  la încălzirea conductelor, în regim de scurtcircuit

Tipul și materialul conductelor		Temperatura maximă admisibilă [°C]	Coeficientul $C$
Bare din cupru		200	165
Bare din aluminiu		200	90
Bare din oțel (fără legătură directă cu aparatele)		400	66
Bare din oțel (cu legătură directă cu aparatele)		300	60
Cabluri cu izolație de hirtie cu conductoare de	cupru	200	145
	aluminiu		90
Cabluri cu izolație din cauciuc sau PVC cu conductoare de	cupru	150	122
	aluminiu		83
Cabluri și conductoare cu izolație de poli- etilena cu conductoare de	cupru	120	104
	aluminiu		70

De asemenea, stabilitatea termică a conductelor poate fi considerată corespunzătoare dacă densitatea curentului pe secțiunea conductoarelor nu depășește valorile admise în regim de scurtă durată (v. par. 4.11.2).

Izolatoarele de susținere ale barelor se verifică numai la solicitările mecanice provocate de oscilațiile barelor sub acțiunea forțelor electrodinamice [23].

În final se menționează că, în cazul în care echipamentele și conductele electrice nu pot fi alese astfel încît să prezinte stabilitate la solicitările datorite efectului termic și electrodinamic al curenților de scurtcircuit la locul de montaj, se recomandă [32] prevederea unor dispozitive speciale de protecție (siguranțe rapide cu mare putere de rupere, întreruptoare automate rapide etc.).

Verificarea la scurtcircuit nu este obligatorie în cazul tablourilor de distribuție, pentru aparatele și conductele protejate prin siguranțe fuzibile. De asemenea, se admite ca transformatoarele de curent să nu fie stabile la curentul de scurtcircuit, dacă stabilitatea ar cere adoptarea unei valori mai mari pentru curentul primar, valoare care ar influența nefavorabil funcționarea aparatelor de măsurat și a circuitelor de protecție.

Lumina condiționează în mare măsură activitatea omului. Iluminatul de nivel corespunzător contribuie la mărirea productivității muncii, la reducerea numărului de accidente, la evitarea erorilor.

Instalațiile de iluminat electric trebuie să realizeze un anumit nivel de iluminare, concomitent cu îndeplinirea unor condiții de calitate, reclamate de caracterul subiectiv al iluminatului. În afară de aceasta, instalațiile de iluminat (artificial-electric) trebuie să aibă, pentru a fi economice, o mare adaptabilitate la condițiile variate de funcționare, dată fiind corelația strânsă cu iluminatul natural.

## 5.1. NOȚIUNI FUNDAMENTALE ÎN TEHNICA ILUMINATULUI

### 5.1.1. RADIAȚIILE VIZIBILE

Radiațiile care impresionează ochiul, deci cele care produc senzații luminoase, se numesc radiații *vizibile* sau *luminoase*. În spectrul radiațiilor electromagnetice, reprezentat după lungimea de undă (având ca unitate de măsură nanometrul,  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ), radiațiile vizibile ocupă domeniul  $380 \dots 760 \text{ nm}$ .

Radiațiile vizibile de o anumită lungime de undă sunt denumite radiații monocromatice și produc asupra ochiului senzația unei anumite culori.

Radiațiile complexe sau policromatice rezultă din suprapunerea mai multor radiații monocromatice. Totalitatea radiațiilor monocromatice vizibile, luate într-o anumită proporție, dă senzația culorii albe.

Spectrul vizibil, reprezentat în figura 5.1, se împarte în șase zone, corespunzătoare culorilor fundamentale: violet, albastru, verde, galben, portocaliu și roșu. Limitele care separă aceste zone nu pot fi precis definite, ele variind de la un observator la altul.

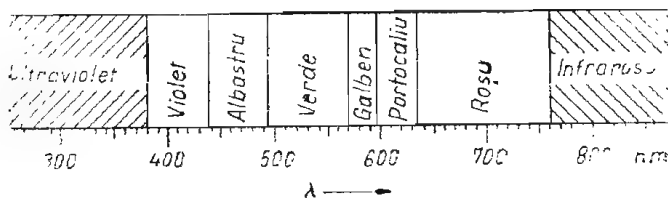


Fig. 5.1. Spectrul radiațiilor vizibile.

### 5.1.2. MĂRIMI ȘI UNITĂȚI FOTOMETRICE

Lumina este caracterizată prin mărimi energetice, evaluate în unități de măsură energetice și prin mărimi fotometrice, evaluate în unități de măsură fotometrice.

Fotometria este știința măsurării mărimilor caracteristice luminii și fenomenelor luminoase, evaluate pe baza senzațiilor luminoase produse. Mărimile fotometrice sînt deci mărimi fizico-fiziologice. Acestea au un caracter obiectiv în urma adoptării unei caracteristici medii a sensibilității ochiului omenesc, în funcție de lungimea de undă a radiațiilor luminoase.

a) *Fluxul energetic*. Orice radiație electromagnetică reprezintă și un transport de energie, care poate fi transformată întotdeauna în căldură. Fluxul energetic  $\Phi_e$  reprezintă energia emisă, transportată sau primită sub formă de radiație în unitatea de timp:

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}, \quad (5.1)$$

în care  $Q_e$  este energia radiantă, exprimată în Joule. Avînd dimensiunile unei puteri, unitatea de măsură a fluxului energetic este wattul.

b) *Intensitatea luminoasă  $I_e$*  se definește ca mărimea fizică ce caracterizează acțiunea unei surse luminoase într-o anumită direcție.

Unitatea de măsură pentru intensitatea luminoasă este candela [cd], unitate fundamentală a sistemului SI, definită astfel: candela este intensitatea luminoasă în direcția normală a unei suprafețe cu aria de  $1/600\,000\text{m}^2$ , a unui corp negru la temperatura de solidificare a platinei ( $2\,046,50\text{ K}$ ), la presiunea de  $101\,325\text{ N/m}^2$ .

În general, intensitatea luminoasă a unei surse variază cu direcția în spațiu. Sursa luminoasă poate fi uniformă sau neuniformă, după cum intensitatea luminoasă este aceeași sau nu în toate direcțiile.

c) *Fluxul luminos  $\Phi_e$*  poate fi definit ca produsul dintre intensitatea luminoasă  $I_e$ , considerată constantă în cadrul unui unghi solid  $\Omega$  și mărimea acestui unghi solid:

$$\Phi_e = I_e \Omega. \quad (5.2)$$

Dacă sursa luminoasă este neuniformă, fluxul luminos al acesteia este dat de relația:

$$\Phi_e = \int I_e d\Omega. \quad (5.3)$$

Unitatea de măsură pentru fluxul luminos este lumenul, definit ca fluxul luminos emis în unghiul solid de un steradian, de către o sursă de lumină punctiformă și uniformă cu intensitatea luminoasă de o candlea.

Fluxul luminos poate fi definit și din punct de vedere energetic, ca reprezentînd puterea radiațiilor electromagnetice exprimată prin intensitatea senzației produse asupra ochiului omenesc. Intensitatea senzației vizuale produse de o radiație, care cade asupra ochiului, depinde de fluxul energetic  $\Phi_e$  (nu de energia radiantă  $Q_e$ ) și de compoziția spectrală a radiației.

Pentru a înțelege mai bine definiția energetică a fluxului luminos, se consideră un geam mat pe care se lasă să cadă două fascicule de lumină

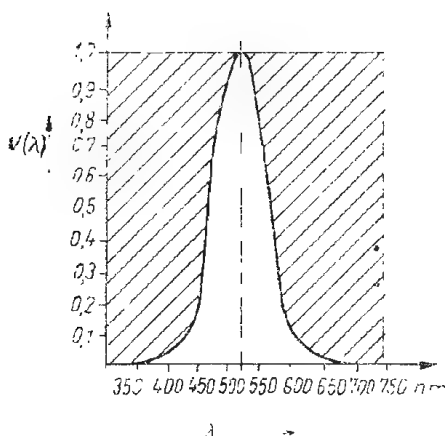


Fig. 5.2. Curba de sensibilitate relativă spectrală a ochiului omenesc.

monocromatică, de lungimi de undă  $\lambda_0 = 555 \text{ nm}$  și  $\lambda_i$ , a căror flux energetic  $\Phi_{e0}$ , respectiv  $\Phi_{ei}$ , poate fi reglat după voie:

— dacă  $\Phi_{e0} = \Phi_{ei}$ , datorită faptului că ochiul omenesc are o sensibilitate mai mică pentru radiațiile de lungime  $\lambda_i$  decât pentru cele de lungime  $\lambda_0$ , intensitatea senzației produse de cîmpul  $i$  va fi mai mică decât cea produsă de cîmpul  $0$  ( $\Phi_{ei} < \Phi_{e0}$ );

— dacă se mărește fluxul energetic  $\Phi_{ei}$  al sursei cu lungimea de undă  $\lambda_i$ , pînă cînd intensitatea senzației produse de cele două cîmpuri asupra ochiului este aceeași ( $\Phi_{ei} = \Phi_{e0}$ ), se poate determina raportul subunitar și adimensional.

$$V(\lambda_i) = \frac{\Phi_{e0}}{\Phi_{ei}}, \quad (5.4)$$

denumit eficacitatea luminoasă spectrală a unei radiații vizibile.

Repetînd experiența descrisă pentru un număr foarte mare de radiații monocromatice din domeniul vizibil, s-a construit curba de sensibilitate relativă spectrală a ochiului omenesc  $V(\lambda)$ , prezentată în figura 5.2.

Din cele de mai sus rezultă că fluxul energetic  $\Phi_{ei}$ , emis pe lungimea de undă  $\lambda_i$ , determină o senzație vizuală de aceeași intensitate cu fluxul energetic

$$\Phi_{e0} = V(\lambda_i)\Phi_{ei}, \quad (5.5)$$

care ar fi emis pe lungimea de undă  $\lambda_0 = 555 \text{ nm}$  (pentru care sensibilitatea ochiului este maximă).

Dacă o sursă de lumină emite simultan radiații pe mai multe lungimi de undă  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ , de fluxuri energetice respectiv  $\Phi_{e1}, \Phi_{e2}, \dots, \Phi_{en}$ , ansamblul acestora

$$\Phi_e = \sum_{i=1}^n \Phi_{ei} \quad (5.6)$$

va crea o senzație de aceeași intensitate ca și mărimea

$$\Phi_e = \sum_{i=1}^n V(\lambda_i)\Phi_{ei} \quad (5.7)$$

emisă pe lungimea de undă  $\lambda_0$ ;  $\Phi_e$  reprezintă tocmai fluxul luminos, într-o definiție energetică. Unitatea de măsură este în acest caz watt-ul luminos [Wl], de aceeași natură ca și watt-ul.

Relația de legătură dintre cele două unități de măsură ale fluxului luminos este

$$1 \text{ Wl} = 680 \text{ lm}. \quad (5.8)$$

d) *Emitanța luminoasă*  $M$ , este densitatea superficială a fluxului luminos emis de o sursă, definită prin relația

$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dA}, \quad (5.9)$$

în care  $dA$  este suprafața emitentă elementară și  $d\Phi_e$  — fluxul luminos emis de aceasta.

Emitanța luminoasă se aplică nu numai suprafețelor care produc fluxul luminos, ci și suprafețelor care reflectă sau transmit fluxul luminos primit de la o sursă primară de lumină.

Unitatea de măsură este lumenul pe metru pătrat [ $\text{lm}/\text{m}^2$ ].

e) *Iluminarea*  $E_e$  reprezintă densitatea de flux luminos primit de o suprafață. Într-un punct oarecare al unei suprafețe, iluminarea este dată de raportul

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{dA}, \quad (5.10)$$

în care  $d\Phi_e$  este fluxul luminos primit de elementul de suprafață  $dA$  din vecinătatea punctului considerat.

Unitatea de măsură pentru iluminare este luxul [ $\text{lx}$ ]

$$\langle E_e \rangle = \text{lx} = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}. \quad (5.11)$$

Iluminarea într-un punct  $P$  al unei suprafețe (fig. 5.3), dată de o sursă punctiformă  $O$  amplasată deasupra planului într-o poziție definită prin coordonatele  $(r, \theta)$ , poate fi calculată explicitind mărimile din relația (5.10) astfel:

— fluxul luminos  $d\Phi_e$  emis în unghiul solid elementar  $d\Omega$  sub care se vede suprafața  $dA$  din punctul  $O$  este

$$d\Phi_e = I_e d\Omega, \quad (5.12)$$

în care  $I_e$  este intensitatea luminoasă a sursei după direcția  $\theta$ ;

— unghiul solid elementar este

$$d\Omega = \frac{dA \cos \theta}{r^2} \quad (5.13)$$

deoarece normala la suprafața  $dA$  face cu direcția  $OP$  unghiul de incidență  $i = \theta$ .

Înlocuind expresiile (5.12) și (5.13) în relația (5.10) rezultă:

$$E_e = \frac{I_e \cos \theta}{r^2}, \quad (5.14)$$

care exprimă cele două legi fundamentale ale iluminării:

— legea pătratelor distanțelor, conform căreia iluminarea unei

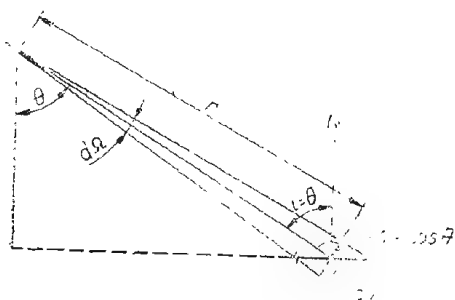


Fig. 5.3. Explicativ pentru iluminarea unei suprafețe.

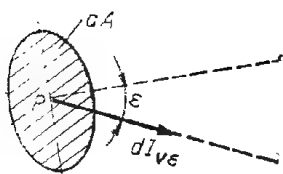


Fig. 5.4. Explicativă pentru determinarea luminanței într-un punct al unei suprafețe.

suprafațe este invers proporțională cu pătratul distanței ( $\theta = \text{const.}$ );

— legea cosinusului, conform căreia iluminarea variază proporțional cu cosinusul unghiului de incidență ( $r = \text{const.}$ ).

În general, în diversele puncte ale unei suprafețe iluminările au valori diferite, atât datorită repartiției neuniforme a fluxului luminos, cât și legerilor iluminării. În asemenea situații, este utilă uneori definirea unei valori medii a iluminării

$$E_{\text{med}} = \frac{\Phi_v}{A}, \quad (5.15)$$

în care  $\Phi_v$  este fluxul luminos primit de suprafața cu aria  $A$ .

f) **Luminanța** (*strălucirea luminoasă*) este mărimea fotometrică percepută direct de ochi și se referă atât la surse de lumină, cât și la suprafețe iluminate.

Prin definiție, luminanța într-un punct  $P$  al unei suprafețe (fig. 5.4) și într-o anumită direcție este raportul dintre intensitatea luminoasă  $dI_{v\epsilon}$  în direcția considerată, datorată elementului de suprafață  $dA$ , și aria proiecției ortogonale a elementului de suprafață  $dA$  din jurul aceluși punct, pe un plan perpendicular pe această direcție

$$L_v = \frac{dI_{v\epsilon}}{dA \cos \epsilon}, \quad (5.16)$$

Pentru suprafețe de luminanță constantă în toate direcțiile, relația (5.16) se poate scrie sub forma

$$L_v = \frac{I_{v\epsilon}}{A \cos \epsilon}. \quad (5.17)$$

Astfel de suprafețe se numesc *perfect difuzante* și în această categorie se încadrează tuburile fluorescente, suprafețele reflectante mate (iluminare uniform), plăcile difuzante din sticlă opalină etc.

Unitatea de măsură pentru luminanță în SI este candela pe metru pătrat [nit]:

$$\langle L_v \rangle = \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}, \quad (5.18)$$

reprezentind luminanța uniformă a unei suprafețe plane cu aria de un metru pătrat, a cărei intensitate luminoasă, într-o direcție normală la plan, este de o candela.

### 5.1.3. PROPRIETĂȚILE FOTOMETRICE ALE MATERIALELOR

Dacă pe suprafața unui corp cade un flux luminos (sau energetic)  $\Phi$ , o parte  $\Phi_a$  este absorbită de corp, o parte  $\Phi_r$  se reflectă și o parte  $\Phi_t$  trece prin corp. Din legea de conservare a energiei rezultă egalitatea

$$\Phi = \Phi_a + \Phi_r + \Phi_t, \quad (5.19)$$

valabilă atât în cazul fluxurilor energetice, cât și al fluxurilor luminoase.

Proprietățile fotometrice ale materialelor sînt exprimate prin valori următorilor factori pozitivi și subunitari:

— factorul de absorbție

$$\alpha = \frac{\Phi_{\alpha}}{\Phi}; \quad (5.20)$$

— factorul de reflexie

$$\rho = \frac{\Phi_{\rho}}{\Phi}; \quad (5.21)$$

— factorul de transmisie

$$\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi}. \quad (5.22)$$

Relația de legătură dintre acești trei factori se deduce din relația (5.19), prin împărțire cu  $\Phi$ :

$$\alpha + \rho + \tau = 1. \quad (5.23)$$

Dacă unul dintre coeficienți are valoarea unu, în baza relației (5.23) ceilalți sînt nuli. În asemenea cazuri limită se disting materiale *perfect absorbante* ( $\alpha = 1$ ), *perfect reflectante* ( $\rho = 1$ ) sau *perfect transparente* ( $\tau = 1$ ). Materialele utilizate în practică se caracterizează prin valori intermediare cazurilor limită.

## 5.2. SURSE ELECTRICE DE LUMINĂ

### 5.2.1. CLASIFICARE

Sursele de lumină moderne sînt în mod exclusiv alimentate cu energie electrică. După modul de producere a radiațiilor luminoase, sursele de lumină (lămpile) se clasifică în patru categorii:

— *lămpi cu incandescență*, la care energia electrică este folosită pentru încălzirea filamentului pînă la temperaturi ridicate. Filamentul incandescent emite energie sub formă de radiații, a căror putere și compoziție spectrală sînt determinate de legile radiației termice;

— *lămpi cu descărcări*, în care lumina este produsă printr-o descărcare luminiscentă într-un gaz, în vapori metalici sau într-un amestec de mai multe gaze și vapori metalici;

— *lămpi cu arc*, la care se produce atît radiații termice, cit și efecte de luminiscentă;

— *lămpi fluorescente*, în care lumina este emisă în principal de un strat de substanță fluorescentă, excitată ea însăși de radiația ultravioletă a descărcării;

— *lămpi speciale*, după tip sau utilizare.

## 5.2.2. MĂRIMI CARACTERISTICE

Mărimile fizice utilizate pentru caracterizarea proprietăților energetice și emisivă ale lămpilor electrice sînt:

- puterea activă absorbită  $P$ ;
- fluxul luminos emis  $\Phi_v$ ;
- eficacitatea luminoasă  $\eta_v$ ;
- temperatura de culoare  $T$ ;
- luminața  $L$ ;
- durata de funcționare  $D$ .

Puterea absorbită de lampă cînd aceasta este alimentată la tensiunea nominală reprezintă puterea nominală.

Fluxul luminos emis de lampă după primele 100 h de funcționare, lampa fiind alimentată la tensiunea nominală, este denumit flux luminos nominal.

Eficacitatea luminoasă  $\eta_v$  se definește ca raportul dintre fluxul luminos  $\Phi_v$  și puterea consumată  $P$ :

$$\eta_v = \frac{\Phi_v}{P}. \quad (5.24)$$

Aceasta este o mărime importantă în aprecierea economicității sursei lor luminoase. Unitatea de măsură a eficacității luminoase este lumenul pe watt

$$\langle \eta_v \rangle = \frac{\text{lm}}{\text{W}},$$

definit ca eficacitatea luminoasă a unei surse care emite un flux luminos de un lumen pentru o putere consumată de un watt.

Temperatura de culoare a unei surse de lumină este temperatura, în grade Kelvin, la care trebuie încălzit corpul negru pentru a avea aceeași culoare cu sursa considerată

$$\langle T \rangle = K.$$

Însemnătatea definiției temperaturii de culoare constă în aceea că, în acest fel, se poate caracteriza printr-un singur număr compoziția spectrală a radiațiilor emise de o anumită sursă de lumină.

Durata de funcționare  $D$  reprezintă timpul, exprimat în ore, în care fluxul luminos al lămpii scade pînă la 80% din valoarea inițială.

Dependențele mărimilor caracteristice ale lămpilor de tensiunea de alimentare a acestora prezintă de asemenea o importanță deosebită. Aceste dependențe sînt denumite caracteristici de funcționare, referindu-se în mod obișnuit la variațiile  $P(U)$ ,  $\Phi_v(U)$ ,  $\eta_v(U)$  și  $D(U)$ .

În cele ce urmează, se prezintă lămpile cu incandescență și fluorescente. Pentru studiul celorlalte surse electrice de lumină se recomandă consultarea lucrărilor [6, 9].

## 5.2.3. LĂMPI CU INCANDESCENȚĂ

La lămpile cu incandescență, emisiunea luminoasă se produce prin încălzirea unui filament de wolfram (tungsten) la o temperatură cuprinsă între 2000 ... 3000 K. Caracteristicile energetice, fotometrice și colorime-



trice ale unei lămpi cu incandescență sînt determinate de temperatura filamentului incandescent.

Eficacitatea luminoasă a unei lămpi cu incandescență normale are valori în intervalul 8 ... 20 lm/W, valorile mai mici corespunzînd lămpilor de putere mică (15 W).

Lămpi cu incandescență de uz general (normale) se fabrică în gama de puteri 15 ... 1 000 W (R.S. România) și chiar pînă la 3 000 W, pentru tensiuni de 120 sau 220 V.

Lămpile cu incandescență pentru tensiunea de 120 V au eficacitatea luminoasă mai mare cu circa 10% decît cele pentru tensiunea de 220 V; aceasta se explică prin aceea că la lămpile pentru tensiunea de 220 V filamentul este mai lung și deci diferitele porțiuni ale acestuia se ecranează reciproc.

Fluxurile luminoase nominale ale lămpilor cu incandescență fabricate în R.S. România sînt indicate în tabelul 5.1.

Durata de funcționare a lămpii normale, adică timpul în care fluxul luminos al lămpii scade pînă la 80% din valoarea inițială, este standardizată la 1 000 ore.

Luminanța acestor lămpi este foarte mare, de ordinul a  $10^7$  cd/m<sup>2</sup>, producînd fenomen de orbire.

Temperatura de culoare este de 2 850 K pentru lămpile umplute cu gaz și de 2 450 K pentru cele cu vid. Culoarea gălbuie a luminii emise poate fi ameliorată prin utilizarea baloanelor colorate, dar scade mult eficacitatea luminoasă. Funcționarea lămpii nu este afectată de temperatura mediului ambiant.

Mărimile caracteristice de funcționare ale unei lămpi cu incandescență variază într-un mod specific odată cu modificarea tensiunii de alimentare în raport cu cea nominală, conform figurii 5.5. Astfel:

— fluxul luminos, puterea absorbită și eficacitatea luminoasă cresc cu creșterea tensiunii;

Tabelul 5.1

Fluxurile nominale ale lămpilor cu incandescență normale fabricate în R. S. România

De uz general					De iluminat local				
$P_n$ [W]	$\Phi_n$ [lm]		$P_n$ [W]	$\Phi_n$ [lm]		$P_n$ [W]	$\Phi_n$ [lm]		
	120 V	220 V		120 V	220 V		12 V	24; 32 V	48; 65 V
15	120	105	150	2 080	1 770	15	147		144
25	217	190	200	2 880	2 540	25	245		240
40	372	312	300	4 680	4 270	40	425		416
60	613	517	500	8 000	7 350	60	648		636
75	840	690	1 000	17 700	16 700	100	--	1 170	1 160
100	1 210	1 040							
Notă. Soclu E--40 pentru 300 ... 1 000 W; restul, E--27.									

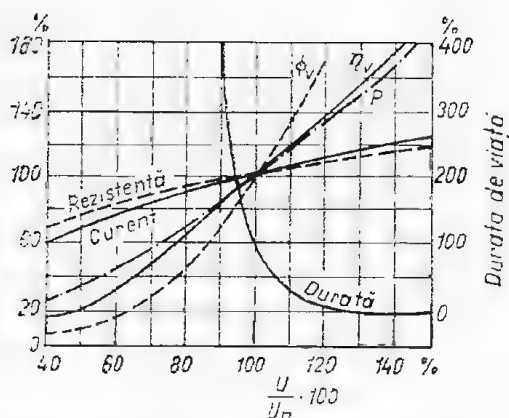


Fig. 5.5. Variația cu tensiunea de alimentare a parametrilor funcționali ai lămpilor cu incandescență.

substanță fluorescentă, excitată ea însăși de radiația ultravioletă a descărcării.

Substanța fluorescentă (luminofor) se depune sub formă de pulbere pe peretele interior al balonului lămpii cu descărcări. Această substanță are un bun coeficient de absorbție pentru radiațiile cu frecvență mai mare, cum sînt radiațiile ultraviolete ale lămpilor cu mercur. Energia radiațiilor absorbite excită atomii substanței fluorescente, ai căror electroni sar pe orbite energetice superioare. Specific acestor substanțe este faptul că reîntoarcerea electronilor pe nivelele energetice inferioare (normale) se face în etape și prin urmare radiațiile electromagnetice care însoțesc aceste salturi au frecvențe mai mici decît cele ale undelor absorbite, deci plasate în domeniul vizibil. Așadar substanțele fluorescente se comportă ca modificatoare de frecvență a radiațiilor.

Acțiunea substanțelor fluorescente este mai complexă, acestea contribuind atît la îmbunătățirea compoziției spectrale a luminii radiate și la modificarea culorii, cit și la mărirea eficacității luminoase a lămpilor.

Lămpile fluorescente pot fi :

- la joasă presiune, numite și tuburi fluorescente ;
- la înaltă presiune sau lămpi cu balon fluorescent.

A. Tuburile fluorescente se execută în general sub forma unui cilindru drept, avînd diferite diametre și lungimi, în funcție de puterea absorbită.

La capetele tubului de sticlă (fig. 5.6), sînt montați electrozii conștînd dintr-un filament de wolfram spiralat și acoperit cu un strat activator din oxizi de pămînturi rare, cu rolul de a favoriza emisia de electroni, cînd electrodul este cald.

Tubul, vidat de aer și curățat de impurități, conține un gaz inert, în general argon și o picătură de mercur.

Amorsarea descărcării în tub se realizează după preîncălzirea electrozilor, prin aplicarea unei tensiuni de amorsare, avînd o valoare mai mare decît tensiunea de funcționare normală. Preîncălzirea electrozilor (care durează circa 2 secunde) asigură o puternică emisie termoelectronică și prin aceasta reducerea considerabilă a valorii necesare pentru tensiunea de amorsare.

— durata de funcționare scade cu creșterea tensiunii de alimentare. Astfel, dacă valoarea eficace a tensiunii rețelei de alimentare crește cu 5%, durata de funcționare se reduce la jumătate, iar dacă tensiunea scade cu 5%, durata de funcționare crește de două ori.

#### 5.2.4. LĂMPI FLUORESCENTE

Lămpile fluorescente sînt lămpi cu descărcări cu balon fluorescent, la care lumina este emisă în principal de un strat de

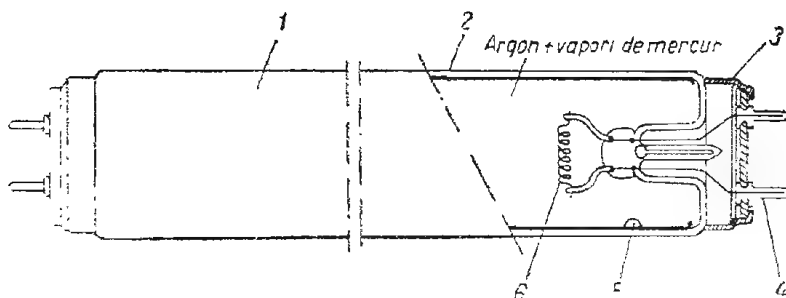


Fig. 5.6. Construcția unui tub fluorescent:

1 — tub de sticlă; 2 — pulbere fluorescentă; 3 — soclu; 4 — picioruș la contact; 5 — mercur;  
6 — electrod.

La temperatura de  $40 \dots 50^\circ\text{C}$  a pereților tubului și la presiunea optimă de  $0,01 \text{ mmHg}$ , descărcarea în vaporii de mercur este însoțită de emisia preponderentă a radiațiilor ultraviolete cu  $\lambda = 253,7 \text{ nm}$ . Acestea sînt absorbite de substanța fluorescentă depusă pe pereții tubului, care emite, pe această bază, radiații vizibile.

Condiții optime de funcționare ale tubului fluorescent se obțin pentru un curent de  $0,25 \dots 1 \text{ A}$ , diametrul tubului fiind de circa  $40 \text{ mm}$ , iar lungimea între  $0,4$  și  $1,5 \text{ m}$ .

Lumina emisă de tuburile fluorescente este corespunzătoare, aceasta permițînd o redare fidelă a culorilor într-o gamă largă de nuanțe. Prin alegerea și combinarea adecvată a substanțelor fluorescente, se obțin diferite temperaturi de culoare, cuprinse în intervalul  $2900 \dots 6500 \text{ K}$ , culorile corespunzătoare acestora fiind simbolizate în tabelul 5.2. Culoarea *alb lumina zilei* este foarte apropiată de aceea a luminii din zilele cu cer acoperit de nori; culoarea *alb cald* corespunde unei lumini cu o compoziție spectrală apropiată de aceea a lămpilor cu incandescență.

Tabelul 5.2

Culorile tuburilor fluorescente pentru iluminatul general

Denumirea culorii	Temperatura de culoare [K]	Simbolul culorii
Alb lumina zilei	6 500	1
Alb lumina zilei corectat	6 500	1x
Alb	4 300	2
Alb superior (de lux)	3 800	2x
Alb cald	3 000	3
Alb cald superior (de lux)	2 900	3x

De remarcat că, tuburi fluorescente avînd aparent aceeași culoare, pot emite radiații luminoase cu compoziții spectrale sensibil diferite. Astfel de lămpi nu vor asigura o redare identică a culorilor.

Fluxul luminos al diferitelor tuburi fluorescente depinde nu numai de puterea lămpii, ci și de temperatura de culoare a luminii emise, adică de fapt de natura substanței fluorescente. Eficacitatea luminoasă are valori ridicate, între  $50 \dots 70 \text{ lm/W}$ .

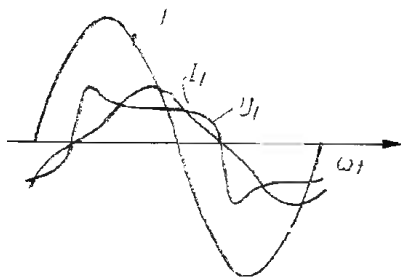


Fig. 5.7. Deformarea curbelor tensiunii  $U_i$  și curentului  $I_i$  prin lampă pentru tubul fluorescent cu balast inductiv ( $f = 50$  Hz).

Durata de funcționare a acestor lampi este de 2 000 ... 3 000 ore, fiind influențată de numărul de întreruperi (la un număr mic de întreruperi și perioade lungi de funcționare, durata este mai mare) și de distorsiunea (abaterea de la forma sinusoidală) curbei curentului prin lampă.

Deformarea curbei tensiunii și curentului prin lampă (conform figurii 5.7) se datorește caracteristicii statice neliniare a descărcării în arc.

Luminanța are valori scăzute de  $3 \dots 10 \cdot 10^3$  cd/m<sup>2</sup>, ceea ce favorizează utilizarea tuburilor fluorescente pentru iluminatul încăperilor joase.

Mărimile electrice (tensiune  $U_i$ , curent  $I_i$ , putere  $P_i$ ) și fotometrice (flux luminos  $\Phi_{vi}$ , eficacitate luminoasă  $\eta_i$ ) caracteristice ale lămpilor fluorescente sint influențate în măsură mai mică de variațiile tensiunii de alimentare, decît în cazul lămpilor cu incandescență. Variația acestor mărimi în funcție de tensiunea rețelei, ilustrată în figura 5.8, este influențată și de natura defazajului tensiune-curent din circuitul lămpii. Semnificativ este faptul că, dacă în cazul lămpilor cu incandescență, eficacitatea luminoasă crește cu creșterea tensiunii rețelei, la lămpile fluorescente efectul este invers.

Tuburile fluorescente produse în R. S. România au puteri de 14, 20, 40 și 65 W. Se execută în trei variante:

- cu amorsare cu starter, pentru funcționare în interior, la temperaturi care nu coboară sub 4 ... 5°C (simbol LFA). Acest tip se fabrică în toată gama de puteri;

- cu amorsare cu starter, pentru funcționare la temperaturi mai scăzute, cu bandă metalizată la exteriorul tubului (simbol LFB). Se fabrică numai pentru puterea de 40 W;

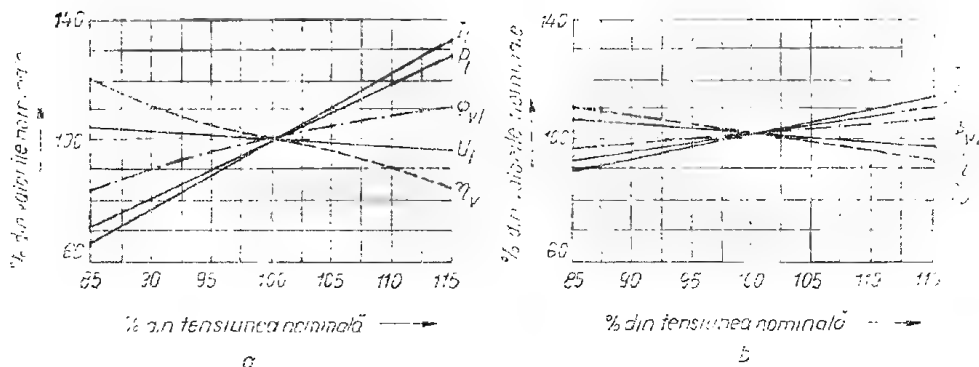


Fig. 5.8. Variația mărimilor caracteristice de funcționare ale tuburilor fluorescente în funcție de tensiunea rețelei:

a — cu balast inductiv; b — cu balast capacitiv.

Caracteristicile lămpilor fluorescente tubulare de joasă presiune cu durată nominală de 6.500 ore, fabricate în R. S. România [10]

Tipul lămpii	Puterea nominală [W]	Curentul nominal [A]	Tensiunea de încălzire la pornire [V]	Tensiunea minimă la rețea la care are loc amorțirea [V]	Plusul luminos nominal/initial minim [lm]								Lungimea [mm]	Observații
					Sambetub cu oru (STAS 6824-68)									
					1	2	3	4	5	6	7	8		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
LPA 14	14	0,39	39 ± 6	90	475/435	450/405	580/530	560/530	590/540	390/350	377,8			
LPA 20	20	0,37	57 ± 7 67 ± 7	90	800/810	860/771	1 100/990	750/675	1 080/972	750/680	604,0	Montaj c.a. starter		
LPA 40	40	0,43	103 ± 10	180	2 300/2 070	2 150/1 910	2 800/2 520	1 850/1 670	2 800/2 520	1 880/1 690	1 213,5			
LPA 65	65	0,67	110 ± 10	180	3 650/3 240	3 600/3 240	4 600/4 150	2 800/2 520	4 400/3 960	3 000/2 700	1 514,3			
LFB 40	40	0,44		—	2 200/	2 000/	2 650/-	1 680/	2 650/	1 780/-	1 213,5	Idem, pentru funcționare la temperaturi scăzute.		
LFB 40	40	0,44	103 ± 10 113 ± 10	180	2 200/1 880	2 100/1 890	2 700/2 390	1 850/1 670	2 650/2 390	1 780/1 600	1 213,5	Montaj fără starter, aprindere la temperaturi scăzute		

Observații. - Diametrul tuburilor fluorescente este de 20,5 mm, indiferent de tip sau putere.

- Timpul maxim de aprindere este de 60 s pentru lămpile LPA și 10 s pentru lămpile LFB.

- Lămpile LPA 14 și LPA 20 pot fi alimentate atât la tensiunea rețelei de 120 V, cât și la 220 V, înscădându-le în baștul core-punător (B15, respectiv B1A).

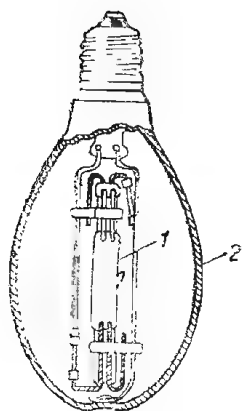


Fig. 5.9. Lampă fluorescentă cu mercur la înaltă presiune:

1 — lampă cu descărcări cu mercur la înaltă presiune;  
2 — balon fluorescent.

— cu amorsare fără starter, pentru iluminatul exterior la temperaturi scăzute, până la  $-15^{\circ}\text{C}$  (simbol LFR). Aceste lămpi au de asemenea bandă metalizată și se fabrică numai pentru puterea de 40 W.

Caracteristicile tuburilor fluorescente fabricate în R. S. România sunt prezentate în tabelul 5.3.

**B. Lămpile fluorescente cu (vapori de) mercur la înaltă presiune nuntite și lămpi cu balon fluorescent, constau dintr-o lampă cu descărcări cu mercur la înaltă presiune amplasată în interiorul unui balon fluorescent de formă ovoidală (fig. 5.9).**

Fluxul luminos al acestor lămpi este format din radiațiile preponderent roșii ale luminoforului și din radiațiile din domeniul vizibil, zonele galben, verde și violet, ale descărcării în vapori de mercur. Lumina albă, rezultată prin suprapunerea acestor radiații, asigură o redare satisfăcătoare a culorilor.

Spre deosebire de lămpile fluorescente tubulare, care sînt sensibile la variațiile de temperatură ale mediului ambiant, lămpile cu balon fluorescent emit un flux luminos practic constant pînă la temperaturi ambiante de  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Eficacitatea luminoasă variază între 30 și 50 lm/W.

Caracteristicile lămpilor fluorescente cu mercur la înaltă presiune tip LVF, produse în R. S. România, sînt indicate în tabelul 5.4.

Lămpile fluorescente cu mercur la înaltă presiune se întrebuintează la iluminatul halelor industriale, străzilor, terenurilor de sport, unde se cer fluxuri luminoase mari relativ concentrate și nu se impun condiții pretențioase de redare a culorilor.

Tabelul 5.4

Caracteristicile lămpilor fluorescente cu mercur la înaltă presiune, fabricate în R. S. România, pentru tensiunea de 220 V, 50 Hz [10]

Tipul lămpii	Caracteristicile electrice				Fluxul luminos [lm]			Tipul soclului	Dimensiuni de gabarit [mm]		
	Puterea nominală [W]	Curentul nominal [A]	Tensiunea minimă pentru funcționare stabilă [V]	Factorul de putere cos $\varphi$	Nominal	Inițial minim	După 2 000 ore funcționare		Înălțimea totală maximă	Diametrul maxim al balonului	Diametrul maxim al gâtului balonului
LVF 80	80	0,86	200	0,50	3050	2590	2200	E 27	165	81	40
LVF 125	120	1,15	200	0,50	5500	4675	3970	E 27	184	91	43
LVF 250	250	2,05	200	0,55	11750	9985	8500	E 40	227	91	53
LVF 400	400	3,15	200	0,60	20000	17000	14500	E 40	292	122	58

C. Lămpile cu vapori de sodiu la înaltă presiune sînt asemănătoare cu lămpile cu vapori de mercur la înaltă presiune. Lampa propriu zisă, numită și arzător, este realizată din alumina sinterizată translucidă, iar ca mediu al descărcărilor folosește sodiu, mercur și gaze inerte. Se fabrică lămpi cu vapori de sodiu cu balon fluorescent (lămpile tip LPN) sau cu balon din sticlă clară (lămpile tip LPN T).

Principalele caracteristici ale lămpilor cu vapori de sodiu la înaltă presiune, sînt date în tabelul 5.5., evidențiind superioritatea acestora față de lămpile cu incandescență sau fluorescențe cu vapori de mercur. Ca dezavantaj se poate menționa luminanța deosebit de ridicată, ceea ce obligă la utilizarea lor în hale industriale înalte, cu înălțimi peste 15 m și în exterior.

Pentru amorsare, se prevede un dispozitiv electric, ignitor tip DA-04, care suprapune tensiunii rețelei impulsuri de înaltă tensiune (3 ... 4,5 kV), determinînd astfel o descărcare rapidă între electrozii lămpii. Caracteristicile ignitorului DA-04, pentru amorsarea lămpilor cu vapori de sodiu, sînt prezentate în tabelul 5.6.

Descărcarea în lampă se stabilizează cu ajutorul balasturilor tip BNA 250 sau BNA 400, în funcție de puterea lămpii. Consumul maxim de putere al balasturilor este de 30 W.

Eficienta luminoasă ridicată (70 ... 120 lm/W) și proprietățile favorabile ale luminii monocromatice a sodiului au făcut ca aceste lămpi să fie utilizate în locurile în care este necesară o percepție mărită, fără a fi necesară o redare corectă a culorilor și anume: iluminatul

Tabelul 5.5

Caracteristicile lămpilor cu vapori de sodiu de înaltă presiune

Simbolul lămpii	Tip al balastului	Puterea nominală [W]	Tensiunea nominală [V]	Tensiunea de funcționare a lămpii [V]	Lungimea L [mm]	Lățimea l [mm]	Sociul	Fluxul nominal [lm]	Distanța nominală [m]	Balastul		Starterul
										Tip	$P_{\text{W}}$ [W]	
LPN 250	elipsoidal fluorescent	250	220	100 ± 15	220	30	13 10	18 000	10 000	BNA 250	30	ignitor
	tubular clar	250	220	100 ± 15	257	46	13 40	20 000	10 000	BNA 250	30	
LPN T 250	elipsoidal fluorescent	400	220	105 ± 15	290	120	13 40	38 000	10 000	BNA 400	30	DA-04
	tubular clar	400	220	105 ± 15	285	46	13 40	40 000	10 000	BNA 400	30	

**Caracteristicile ignitorului DA-04 pentru amorsarea lămpilor cu vapori de sodiu**

Caracteristicile	Valorile
Tensiunea de lucru [V]	187 - 242
Frecvența rețelei [Hz]	50
Puterea maximă a lămpii pe care o amorsează [W]	400
Amplitudinea impulsurilor furnizate [kV]	3 - 4,5
Tensiunea de blocare [V]	160 - 185
Numărul de impulsuri pe o perioadă	1
Dimensiunile [mm]	100 × 50 × 100
Greutatea [kg]	0,5

public, iluminatul halelor de turnătorie și forjă, iluminatul decorativ etc. În exterior, se utilizează la iluminatul drumurilor, intersecțiilor, piețelor, a nodurilor și triajelor de cale ferată. De asemenea, se recomandă pentru iluminatul platformelor industriale unde au loc degajări de fum sau praf și pentru iluminatul public al orașelor de munte cu ceață frecventă [6].

### 5.3. SCHEME ȘI ECHIPAMENTE DE CONECTARE LA REȚEA

La lămpile cu descărcări funcționând în zona de descărcare luminescentă, conectarea la rețea se face printr-un circuit care trebuie să conțină, în serie cu lampa, un balast, de obicei rezistiv, în acest scop putând fi utilizată o lampă cu incandescență. Tensiunea de amorsare a descărcării luminescente este de obicei mai mică decât tensiunea rețelei, astfel încât nu sînt necesare dispozitive speciale de amorsare.

Schemele de conectare ale lămpilor funcționând în zona de descărcare în arc, trebuie să asigure îndeplinirea următoarelor două condiții de bază: lampa să se poată aprinde și să funcționeze stabil. În afara acestor condiții, prin conexiuni bine alese se pot obține rezultate ca: aprinderea directă după conectare, înlăturarea pîlpîrilor și îmbunătățirea factorului de putere [10].

Conectarea lămpilor cu descărcări în arc și a celor fluorescente la rețeaua electrică este posibilă prin folosirea următoarelor accesorii: starterul, balastul și transformatorul de înaltă tensiune.

În cele ce urmează se analizează rolul acestor accesorii în funcție de tipul lămpii fluorescente al cărui circuit îl deservește.



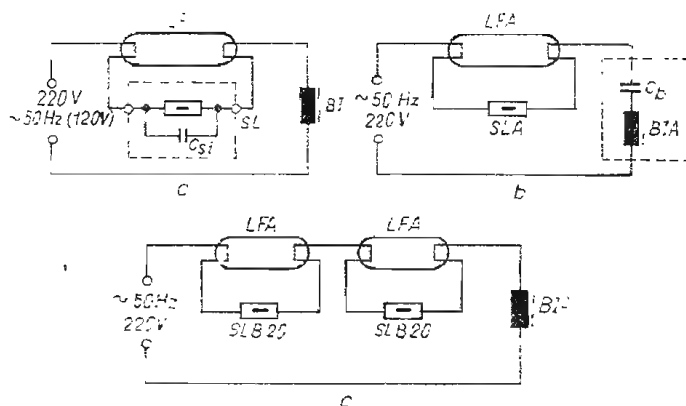


Fig. 5.10. Schemele de conectare la rețea a tuburilor fluorescente cu amorsare prin starter:

a — pentru o lampă LFA de 14 W, 20 W, 40 W sau 65 W și pentru o lampă tip LFB 40, cu balast inductiv; b — pentru o lampă LFA 40 sau LFA 65 cu balast capacitiv; c — pentru două lampi LFA 14 sau LFA 20.

a) Tuburile fluorescente la joasă presiune tip LFA și LFB (v. tab. 5.3) cu amorsare prin starter, se conectează la rețea conform schemelor prezentate în figura 5.10.

Starterul SL, conectat în paralel cu tubul fluorescent îndeplinește următoarele două funcțiuni:

— permite preîncălzirea electrozilor lămpii la o temperatură care asigură electrozilor o emisie termoelectronică suficientă și evaporarea parțială a mercurului din tub;

— întrerupe curentul din circuitul de preîncălzire a electrozilor, circuit în care filamentele electrozilor sunt înseriate.

Ambele funcțiuni sînt îndeplinite în etapa de pornire a lămpii. După amorsarea descărcării prin tubul fluorescent, starterul încetează să funcționeze, datorită faptului că tensiunea la bornele tubului amorsat este insuficientă pentru reaprinderea starterului.

Caracteristicile starterelor cu încălzire produse în R. S. România sînt indicate în tabelul 5.7.

Tabelul 5.7

Caracteristicile starterelor cu încălzire produse în R. S. România, pentru lămpi fluorescente de joasă presiune

Tipul starterului	Tensiunea de funcționare [V]	Pentru o singură lampă de tipul	Norma internă
SLB 20	75 ÷ 95	LFA 14 LFA 20	931—30
SLA 40	140 ÷ 180	LFA 40 LFB 40	
SLA 65	150 ÷ 180	LFA 65	

Observație. În prezent, starterele cu încălzire sînt prevăzute cu casete din polietilenă.

Tabelul 5.8

Caracteristicile balasturilor inductive produse în R. S. România pentru lămpi fluorescente de joasă presiune (NI 917-65)

Tipul balastului	Înălțimea de gabarit [mm]	Tensiunea nominală de alimentare a ansamblului lampă-balast [V]	Puterea maximă disipată pe balast [W]	Factorul de putere nominal al ansamblului lampă-balast $\cos \varphi_n$	Curentul absorbit [A]		Lămpi alimentate buclă de curent	Sistem de conexiuni
					Preîncălzire $I_p$	Funcționare $I_n$		
BIA 14	105	220	10,5	0,25	0,45	0,39	1 × LFA 14	5.28, a
BIB 14	105	120	5,5	0,41	0,45	0,39	1 × LFA 14	5.28, a
EIA 20	105	220	10,5	0,35	0,45	0,39	1 × LFA 20	5.28, a
BIB 20	105	120	5,5	0,32	0,45	0,39	1 × LFA 20	5.28, a
			10,0	0,55	0,70	0,42	2 × LFA 20	5.28, c
BIA 30	105	220	9,0	0,45	0,50	0,39	2 × LFA 14	5.28, c
BIA 40	105	220	10,5	0,50	0,66	0,44	1 × LFA 40	5.28, a
							1 × LFB 40	5.28, a
							2 × LFA 20	5.28, c
BIA 65	150	220	14,5	0,50	1,10	0,69	1 × LFA 65	5.28, a
ERA 40	240	220	15,0	0,95	0,47	0,25	1 × LFR 40	5.29, a
ERE 40	150	220	15,0	0,95	0,47	0,25	1 × LFR 40	5.26, b

**Observații.** 1. Pentru o tensiune a rețelei  $U_r \in (0,9 \dots 1,1) U_n$  curentul de preîncălzire poate să varieze în limitele  $I_p \in (0,9 \dots 2,1) I_n$ .  
2. Balastul BIA 30 este fabricat pentru alimentarea lămpilor cu radiații ultraviolete bactericide, dar poate fi utilizat și pentru alimentarea în montaj tandem a două lămpi LFA 14, la 220 V.

Condensatorul  $C_n$ , reprezentat în figura 5.10, a se consideră, în celelalte scheme (5.10, b și c), înglobat în starter. Avînd o capacitate mică și fiind conectat în paralel cu tubul fluorescent acest condensator formează o cale de scurtcircuit pentru oscilațiile de înaltă frecvență produse de tub.

Balastul BI (fig. 5.10, a) este o bobină cu miez de fier și întreier, conectată în serie cu tubul fluorescent, avînd următoarele funcțiuni:

— produce un vîrf de tensiune la bornele lămpii, de o amplitudine mai mare decît cea a tensiunii rețelei de alimentare, cu scopul amorșării descărcării în arc;

— limitează curentul prin lampă la o valoare care să nu ducă la distrugerea electrozilor.

Caracteristicile balasturilor inductive produse în R. S. România pentru tuburi fluorescente sînt indicate în tabelul 5.8.

În cazul legării în serie cu balastul inductiv normal a unui condensator cu o capacitate corespunzătoare, se obține un balast capacitiv (fig. 5.10, b) avînd factorul de putere în jur de 0,5 — capacitiv. Caracteristicile balasturilor capacitive sînt date în tabelul 5.9.

b) Tuburile fluorescente tip LFA și LFR cu amorșare fără starter au circuitele de conectare la rețea conform schemelor din figura 5.11.

Balastul pentru aprindere rapidă fără starter — tip BR — este format din două bobine  $L_1$  și  $L_2$ , montate pe același circuit feromagnetic și condensatorul  $C_n$ , legat în serie cu bobina  $L_2$ .

Caracteristicile balasturilor capacitive pentru lămpi fluorescente tubulare

Tipul balastului inductiv	Condensatorul		
	Capacitatea [ $\mu\text{F}$ ]	Toleranța [%]	Tensiunea nominală [V]
BIA 40	3,8	$\pm 5$	380
BIA 65	5,8	$\pm 5$	380

Conectarea în circuit a acestui tip de balast este indicată în figura 5.11, *a* și *b*. Se observă că balastul BRA 40 (fig. 5.11, *a*) are condensatorul  $C_r$  înglobat în carcasă, iar balastul BRB 40 (fig. 5.11, *b*) nu este prevăzut cu acest condensator, astfel încît  $C_r$  urmează a fi conectat ulterior în circuit.

Condițiile de amorsare a descărcării în tub sînt îndeplinite astfel :

- preîncălzirea electrozilor se realizează datorită valorii inițiale mai mari a curentului în circuitul acestora, care avînd bobinele  $L_1$  și  $L_2$  în serie cu condensatorul  $C$ , prezintă o reactanță echivalentă suficient de mică ;
- vîrful de tensiune este produs de circuitul rezonant serie  $L_2-C_r$  ;
- limitarea curentului prin lampă, după amorsarea descărcării, este realizată de bobina  $L_1$ .

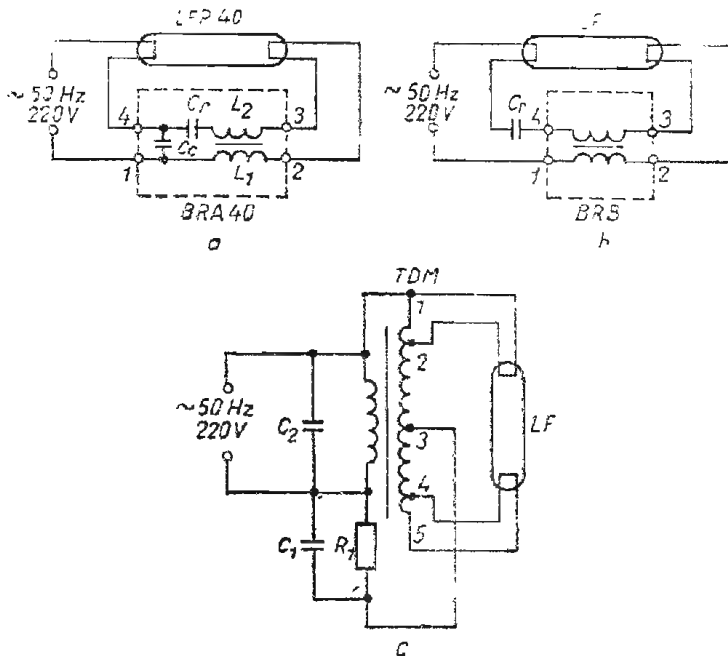


Fig. 5.11. Schemele de conectare la rețea a tuburilor fluorescente cu aprindere rapidă fără starter :

*a* — pentru o lampă tip LFR 40 ; *b* — pentru o lampă tip LFR 40 sau LFA 65 ( $C_r = 5 \mu\text{F}$ , 250 V) ; *c* — cu transformator cu dispersie magnetică mare.

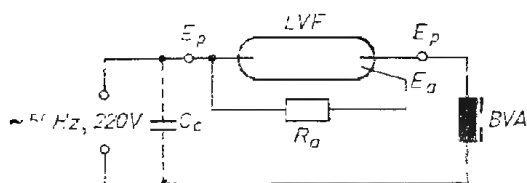


Fig. 5.12. Schema de conectare la rețea a lămpilor fluorescente cu mercur la înaltă presiune.

Balastul BRA 40 mai este prevăzut și cu un condensator  $C_c$  (fig. 5.11, a) pentru îmbunătățirea factorului de putere, legat în paralel cu tubul fluorescent.

O altă schemă de conectare pentru aprindere rapidă utilizează transformatorul cu dispersie magnetică mare TDM (fig. 5.11, c), care asigură amorsarea descărcării în lampă și funcționarea sa sigură chiar la temperaturi scăzute. Acesta este prevăzut cu două înfășurări 1—2, respectiv 4—5 pentru încălzirea electrozilor și o înfășurare 1—5 ridicătoare de tensiune. Schema prevede un condensator  $C_1$  pentru ușurarea aprinderii și un condensator  $C_2$  pentru îmbunătățirea factorului de putere. După realizarea aprinderii, înfășurarea 3—4 îndeplinește rolul de balast.

a) Lămpile fluorescente cu mercur la înaltă presiune tip LVF se conectează la rețea conform schemei din figura 5.12.

Balastul BVA are rolul de a stabili descărcarea, limitind curentul electric la o valoare admisibilă, care să nu distrugă electrozii. Caracteristicile balasturilor inductive tip BVA pentru lămpi fluorescente cu mercur la înaltă presiune sînt prezentate în tabelul 5.10.

Pentru îmbunătățirea factorului de putere a montajelor se recomandă montarea în paralel a unor condensatoare de compensare  $C_c$  (fig. 5.12), direct la bornele de alimentare ale sistemului lampă-balast.

Conectarea la rețea a lămpilor cu mercur la înaltă presiune se face similar cu a lămpilor fluorescente cu mercur la înaltă presiune.

Tabelul 5.10

Caracteristicile balasturilor pentru lămpi cu mercur la înaltă presiune

Măreala caracteristică	Tipul balastului			
	BVA 80	BVA 125	BVA 250	BVA 400
Tipul lămpii la care se asociază	LVF 80	LVF 125	LVF 250	LVF 400
Tensiunea nominală [V]	220	220	220	220
Pierderi maxime de putere în balast [W]	10	13	18	23
Capacitatea condensatorului conectat în paralel cu ansamblul lampă-balast [ $\mu F$ ]	6,3	10	20	25
Curentul absorbit de la rețea [A] :				
— fără condensator	0,80	1,15	2,05	3,15
— cu condensator	0,50	0,70	1,30	2,10
Factorul de putere al montajului cecet :				
— fără condensator	0,53	0,50	0,55	0,60
— cu condensator	0,80	0,90	0,95	0,90

## 5.4. CORPURI DE ILUMINAT

### 5.4.1. GENERALITĂȚI

Utilizarea directă a surselor de lumină nu este posibilă în toate cazurile, deoarece acestea au, în general, o luminanță prea mare, supărătoare pentru ochi iar distribuția fluxului lor luminos nu este întotdeauna cea mai avantajoasă din punct de vedere al obținerii, în condiții economice, a nivelului de iluminare prescris pe suprafețele iluminate.

Pentru a evita aceste inconveniente, sursele de lumină se includ în corpuri de iluminat

*Corpul de iluminat* este un aparat care servește la distribuirea, filtrarea sau transformarea luminii lămpilor, constituit din toate piesele necesare pentru fixarea și protejarea lămpilor, precum și pentru conectarea acestora la circuitul de alimentare.

Părțile componente ale unui corp de iluminat pot fi grupate în două părți, cu rol funcțional distinct: sistemul optic și armătura.

a) Sistemul optic are rolul de a reduce luminanța lămpii, de a modifica compoziția spectrală și distribuția fluxului luminos al acesteia.

Sistemul optic cuprinde următoarele elemente:

- reflectoare, bazate pe fenomenul de reflexie;
- refractoare, bazate pe fenomenul de refracție;
- ecrane difuzante din substanțe translucide, care având suprafață mare, acoperă lămpile din corp, reducând luminanța acestora prin difuzie;
- filtre colorate;
- grătare de ecranare, din elemente opace sau translucide, dispuse pentru a masca lămpile de vedere directă, sub un unghi determinat.

b) Armătura corpului constă din ansamblul pieselor, în general metalice, care asigură:

- fixarea lămpii (dulii) și a sistemului optic;
- alimentarea cu energie electrică (conductoare, balasturi, startere condensatoare etc.);
- protejarea lămpilor împotriva atingerii, prăfuirii sau umezelii (sticlă, grilaj de protecție).

### 5.4.2. CARACTERISTICI FOTOMETRICE

Principalele caracteristici fotometrice ale corpurilor de iluminat sunt: curbele fotometrice, randamentul și unghiul de protecție.

a) *Curba fotometrică* este reprezentarea grafică, în coordonate polare, a dependenței  $I_p(\theta)$  a intensității luminoase a corpului de iluminat în funcție de unghiul de înălțime  $\theta$ . Curbele fotometrice reprezintă secțiuni longitudinale prin corpurile fotometrice. În figura 5.13 se prezintă curbele fotometrice ale unor corpuri de iluminat; pentru caracterizarea unui corp fotometric simetric, corespunzător unui corp de iluminat, este suficientă o singură curbă fotometrică (fig. 5.13, a), în timp ce pentru corpuri fotometrice nesimetrice care admit două planuri de simetrie perpendiculare se

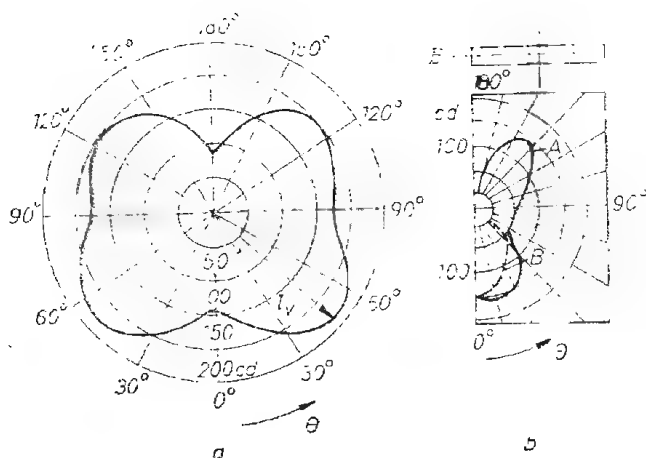


Fig. 5.13. Curbe fotometrice (longitudinale) pentru corpuri de iluminat:

a - simetrice, b - nesimetrice (sau tuburi fluorescente).

folosesc două curbe fotometrice, obținute în planele de simetrie respective (fig. 5.13, b).

În mod obișnuit, curbele fotometrice se trasează în ipoteza că fluxul luminos al surselor montate în corpul de iluminat este de 1 000 lm; valoarea reală  $I'_s$  a intensităților luminoase pentru un flux  $\Phi'_{si}$  al surselor de lumină din corp, diferit de 1 000 lm, se obține cu relația

$$I'_s(\theta) = I_s(\theta) \frac{\Phi'_{si}}{1\,000} \quad (5.25)$$

b) *Randamentul*  $\eta_c$  al corpului de iluminat, reprezentînd raportul dintre fluxul luminos  $\Phi_{sc}$  al corpului de iluminat și fluxul luminos  $\Phi_{si}$  al lămpilor montate în corp,

$$\eta_c = \frac{\Phi_{sc}}{\Phi_{si}} \quad (5.26)$$

caracterizează corpul de iluminat din punct de vedere economic și depinde de materialele din care este executat sistemul optic al corpului și de construcția acestuia.

c) *Unghiul de protecție*  $\delta$  (într-un anumit plan meridian) este unghiul dintre orizontală și linia limită sub care poate fi văzută lampa montată în corp (fig. 5.14). Această mărime caracterizează corpul de iluminat din punct de vedere al efectului de orbire pe care îl prezintă, deoarece vederea directă a izvorului de lumină este împiedicată de apărătoare, cînd se privește deasupra liniei limită. Corpurile de iluminat avînd unghiuri de protecție mai mici de 30°, nu asigură o protecție suficientă a ochiului față de lumina sursei de lumină.

Unghiurile de protecție ale corpurilor de iluminat se realizează prin abajururi opace sau din sticlă lăptoasă.

În funcție de valoarea acestui unghi, prescripțiile pentru iluminatul artificial normează înălțimea minimă de fixare a corpurilor de iluminat, plecînd de la necesitatea de a se limita efectul de orbire.

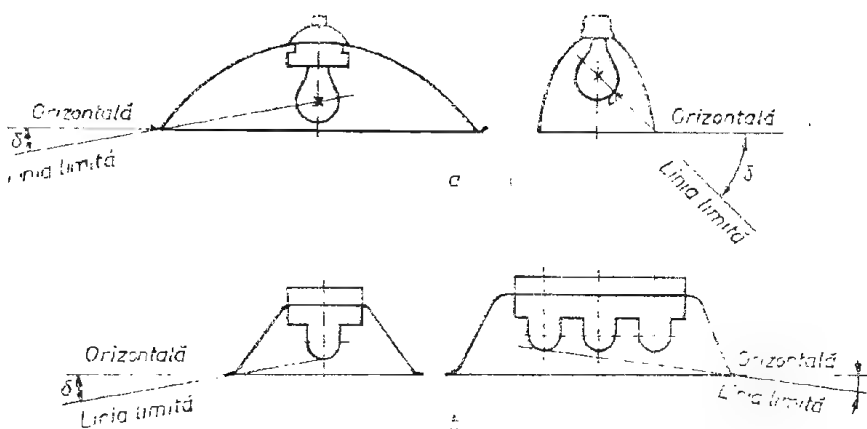


Fig. 5.14 Explicativă pentru definiția unghiului de protecție al corpurilor de iluminat:  
a — pentru lămpi cu incandescență; b — pentru tuburi fluorescente.

### 5.4.3. CLASIFICAREA CORPURILOR DE ILUMINAT

Corpurile de iluminat pot fi clasificate după mai multe criterii, dintre care cele mai importante sînt: felul surselor de lumină, distribuția fluxului luminos, felul instalației de iluminat, precum și particularitățile constructive și de fixare.

a) În funcție de felul surselor de lumină utilizate, corpurile de iluminat se pot clasifica în:

- corpurile de iluminat pentru lămpi cu incandescență;
- corpurile de iluminat pentru lămpi fluorescente.

b) După forma corpului fotometric, există corpurile de iluminat:

— simetrice, care au un corp fotometric de revoluție, caracterizabil printr-o singură curbă fotometrică;

— nesimetrice, al căror corp fotometric nu mai este un corp de revoluție. În cadrul acestora, se diferențiază corpurile fotometrice cu două plane de simetrie, caracterizabile prin două curbe fotometrice și corpurile fotometrice asimetrice, a căror caracterizare se face prin curbe izocandele (curbe de egală intensitate luminoasă).

c) În raport cu distribuția fluxului luminos  $\Phi_v$  al corpului în cele două emisfere — superioară ( $\Phi_D$ ) și inferioară ( $\Phi_C$ ) — obținute prin secționarea corpului fotometric printr-un plan orizontal care trece prin centrul corpului de iluminat, se deosebesc următoarele tipuri de corpurile de iluminat:

- direct, la care  $\Phi_C \geq 0,9 \Phi_v$ ;
- semidirect, la care  $\Phi_C = (0,6 \dots 0,9) \Phi_v$ ;
- mixt, la care  $\Phi_C = (0,4 \dots 0,6) \Phi_v$ ;
- semiindirect, la care  $\Phi_D = (0,6 \dots 0,9) \Phi_v$ ;
- indirect, la care  $\Phi_D \geq 0,9 \Phi_v$ .

Curbele fotometrice corespunzătoare unor astfel de corpurile sînt reprezentate în figura 5.15.

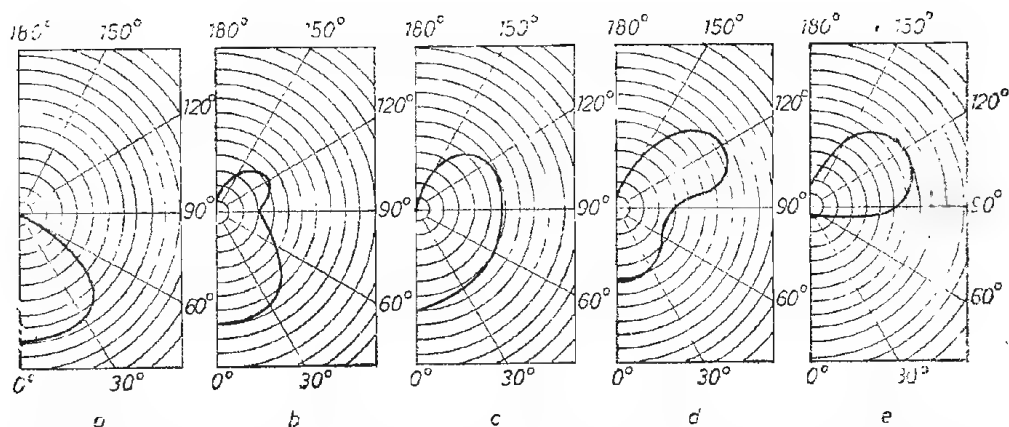


Fig. 5.15 Curbe fotometrice ale unor corpuri de iluminat simetrice, realizând distribuții diferite ale fluxului luminos în emisările superioară și inferioară:

a — direct; b — semidirect; c — mixt; d — semiindirect; e — indirect.

b) În funcție de mărimea unghiului solid în care se distribuie fluxul luminos (fig. 5.16), corpurile de iluminat pot fi:

— cu repartitie difuză, la care curba fotometrică poate fi asimilată cu un cerc (fig. 5.16, a);

— cu repartitie largă, care emit cel mult 50% din fluxul luminos  $\Phi_{ec}$  în interiorul unui con de revoluție în jurul axei, avind un unghi la vîrf de  $2 \times 50^\circ$  (fig. 5.16, b);

— cu repartitie mijlocie (fig. 5.16, c), care emit cel puțin 50% din fluxul luminos  $\Phi_{ec}$  în interiorul unui con de revoluție în jurul axei sale, avind un unghi la vîrf de  $2 \times 50^\circ$ ;

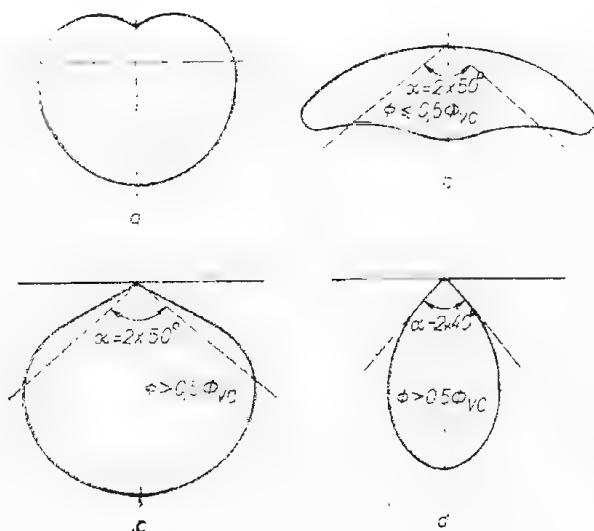


Fig. 1.16 Curbe fotometrice reprezentative pentru corpuri de iluminat cu repartitie:

a — difuză; b — largă; c — mijlocie; d — concentrată.



— cu repartitie concentrată (fig. 5.16, *b*), care emit peste 50% din fluxul lor luminos  $\Phi_v$  în interiorul unui con de revoluție în jurul așei, avînd un unghi la vîrf de  $2 \times 40^\circ$ .

*e)* În raport cu felul instalației de iluminat, corpurile de iluminat se clasifică după cum urmează:

- pentru iluminatul interior;
- pentru iluminatul exterior;
- pentru instalații de iluminat etanșe (în mine, în medii explozive, corozive, umede, în ploaie sau în imersie etc.);
- cu utilizări speciale (săli de spectacole, vitrine, expoziții, iluminatul fără umbre etc.).

*f)* În funcție de particularitățile de execuție și de fixare, corpurile de iluminat se pot clasifica în:

- aplici, care sînt corpuri de iluminat fixate pe pereți;
- plaioniere, fixate pe tavan;
- pendule sau corpuri suspendate, fixate la extremitatea unui cordon, lanț, tub etc.;
- corpuri de iluminat local (cu articulație, armonică etc.), montate pe utilaje, planșete, mese etc.;
- corpuri de iluminat portabile, destinate a fi ținute sau transportate în mînă, fiind legate la rețeaua de alimentare printr-un cordon flexibil.

#### 5.4.4. CORPURI DE ILUMINAT INDUSTRIAL

Corpurile de iluminat pentru lămpi cu incandescență sînt prezentate în tabelul 5.11. Acestea au, în general, o distribuție simetrică a fluxului luminos.

În tabelul 5.12 sînt indicate principalele tipuri de corpuri pentru lămpi fluorescente.

Corpurile de iluminat pentru tuburi fluorescente sînt constituite dintr-o armătură, cuprinzînd instalația electrică (conductoarele, balasturile, condensatoarele, starterele, duciile) și elementele de montaj sau suspendare și un sistem optic, cuprinzînd reflectoare și grătare dispersoare.

În tabelul 5.13 sînt indicate lungimile corpurilor de iluminat cu tuburi fluorescente, date necesare la amplasarea corpurilor în șiruri.

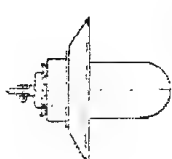
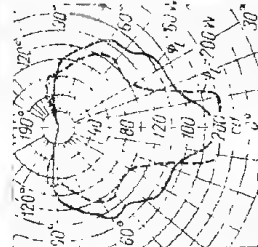
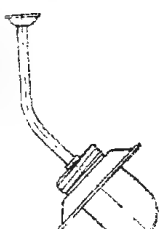
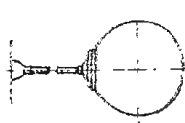
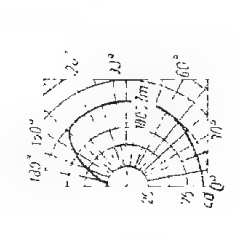
#### 5.5. CLASIFICAREA ÎNSTALAȚIILOR ELECTRICE DE ILUMINAT

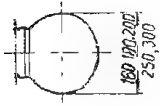
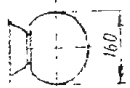
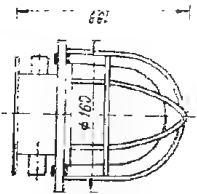
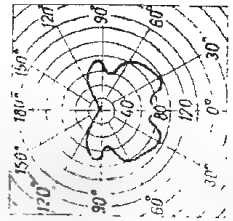
Instalațiile electrice de iluminat se pot clasifica în funcție de locul de amplasare, natura surselor de lumină, direcția luminii, amplasarea corpurilor de iluminat în raport cu suprafețele iluminate și destinație.

*a)* În raport cu locul de amplasare a instalațiilor, acestea pot fi:

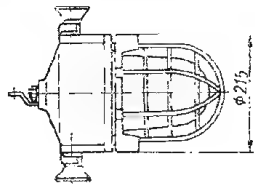
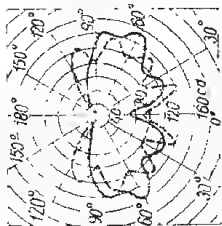
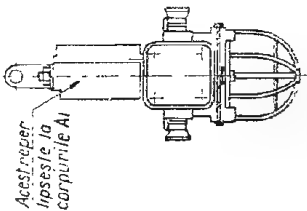
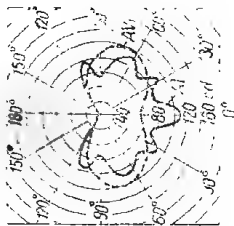
- de iluminat interior;
- de iluminat exterior;
- de iluminat etanșe;
- speciale (săli de spectacole, vitrine, expoziții etc.).

Corpuri de iluminat pentru lampi cu incandescentă

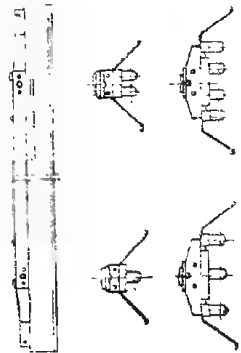
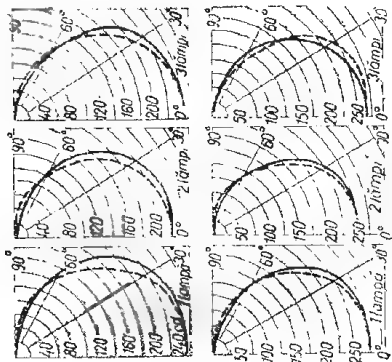
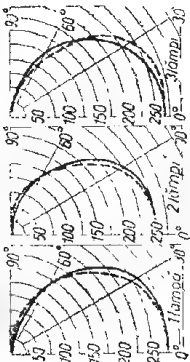
Nr. crt.	Denumirea	Schița corpului de iluminat	Curba fotometrică în $\Phi_l = 1000 \text{ lm}$	Rendamentul	Utilizare	Observații
0	1	2	3	4	5	6
1	Armătură impermeabilă pentru montaj suspendat, tip P-IC			0,89	Iluminatul interior și exterior al locurilor expuse stropirii sau cu umiditate ridicată: băi, spălătorii, stații de pompare, iluminat exterior de incintă etc.	Tip P-IC-60 pentru lampi de 60 W; tip P-IC-200 pentru lampi de 200 W
2	Armătură impermeabilă pentru montaj pe perete, tip P-IB		Aceași cu poz. 1	0,89	Idem poz. 1	Tip P-IB-60 pentru lampi de 60 W; tip P-IB-200 pentru lampi de 200 W
3	Pendul cu glob opal, tip PE			0,79	Iluminatul încăperilor uscate cu plafon și pereți de culoare deschisă: -- birouri, clase, cabinete medicale (lămpi de 100...200 W); -- coridoare, casa scării, holuri, săli de așteptare, magazine, în camere anexe (lămpi de 25...75 W).	Tip PE-80 pentru lampi de 40 W; tip PE-100 pentru lampi de 100 W; tip PE-120 pentru lampi de 150 W; tip PE-150 pentru lampi de 200 W

4	Plafonieră metalică cu glob opal, tip PA		Acceași cu poz. 3	0,79	Idem poz. 3	Tip PA—80 pentru lămpi de 40 W ; — tip PA—100 pentru lămpi de 100 W ; — tip PA—120 pentru lămpi de 150 W ; — tip PA—150 pentru lămpi de 200 W
5	Aplică din amonoplast, dreaptă tip AA—D sau oblică tip AA—O	 Aplică tip AA—D	Acceași cu poz. 3	0,79	Iluminat general în încăperi cu nivel de iluminare sub 50 lx : — culcare, dormitoare, băi, terase etc.	— se pot monta lămpi cu puteri până la 60 W ; — tip AA—D cu fixare pe plafon ; — tip AA—O cu fixare pe perete.
6	Armătură etanșă tip I—E	 Tip I—ED—60		0,89	Iluminatul mediilor expuse umidității de până la 95% sau cu particule de praf în suspensie.	— puterea maximă a lămpii 60 W ; — tip I—ED—60 pentru montaj aparent pe plafon ; — tip I—EP—60 pentru montaj aparent pe perete.

Tablul 5.11 (continuare)

6	1	2	3	4	5	6
7	Corp de iluminat, antigrizotos și antiexploziv tip LMS-7			0,69	Iluminatul general în locurile cu pericol de explozie.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- puterea lămpii poate fi de 100 sau 200 W;</li> <li>- etanșare cu pila-nie de racordare (P), unplug (N) sau racord G 3/4 (R);</li> <li>- tipuri de corpuri în baza celor de mai sus:</li> <li>LMS-7/100 (N,R)</li> <li>LMS-7/200P(N,R)</li> </ul>
8	Corp de iluminat, antigrizotos, antiexploziv și cu capsulare antidefla-grantă tip AI (sau AV).			0,75... 0,77 (tip AV)	„	<p>Tip AI 200 pentru lămpi cu incandescență de 100 W (tipurile AV-80 și AV-125 pentru lămpi cu vapori de mercur de 80, respectiv 125 W).</p> <p>Se pot executa atât tip P cât și N (v. poz. 7).</p>

Corpuri de iluminat pentru lampi fluorescente

Nr. crt.	Denumirea	Schita corpului de iluminat	Curba fotometrică *) la $\Phi_1 = 1000$ lm	Rendamentul	Utilizare	Observații
0	2	3	3	4	6	6
1	Corpuri de iluminat cu reflector, pentru tuburi fluorescente, tip FIRA		<p>FIRA(S) - 01</p>  <p>FIRA(S) - 02</p> 	<p>0,822 (FIRA - 01 - 1); 0,784 (FIRA - 01 - 2); 0,74 (FIRA - 01 - 3); 0,803 (FIRA - 01 - 4); 0,77 (FIRA - 02 - 1); 0,734 (FIRA - 02 - 2); 0,69 (FIRA - 02 - 3); 0,75 (FIRA - 02 - 4).</p>	<p>Iluminatul general direct în încăperi industriale înalte, în medii fără agresivitate chimică, fără pericol de incendiu sau explozie, cu umiditate maximă de 65 % și temperaturi de + (5...35) °C.</p>	<p>Variantele FIRA - 02 au reflectorul mai înalt, montarea de pe plafon (FIRA) sau suspendat cu tijă (FIRAS); țigăușii de protecție este de 14 la FIRA - 01 și de 20 la FIRA - 02; variante de echipare: FIRA 01(02) - 140; 165; 210; 265; 300; 365; 440</p>

\* Cu linie continuă s-a trasat curba fotometrică în plan transversal, iar cu linie întreruptă cea din planul longitudinal.




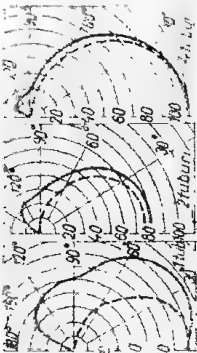

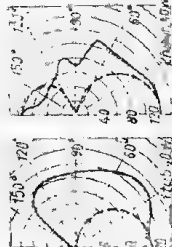
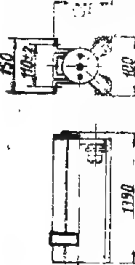
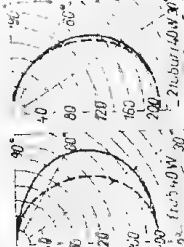




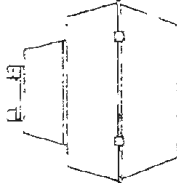
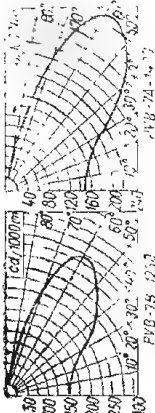
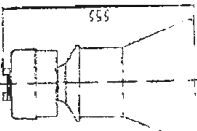
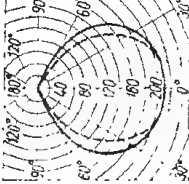
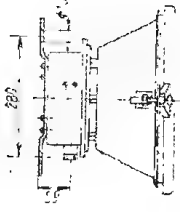
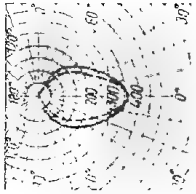
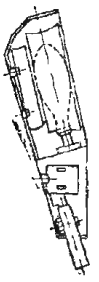
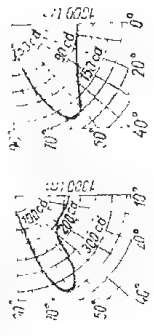
5	Corpuri de iluminat cu dispersor, tip FIDA -- 03			0,445	Iluminatul în condiții foto-metriche pentru cecetare, centre de calcul, spitale, clădiri sociale, culturale, spații de învățământ etc.	Montare: direct pe plafon (FIDA) sau suspendat prin tip (FIDAS); variante de echipare: FIDA-03 -- 120; 140; FIDA-03 -- 220; 240; 265; FIDA-03 -- 420; 440	Variantă de echipare: FIPA-01 140; FIPA-01 240
6	Corpuri de iluminat, fluorescente, pentru interior, tip FIPA-01			0,96 (pt. 1 lampă); 0,924 (pt. 2 lămpi)	Iluminatul în condiții cu conținut ridicat de umiditate și praf, la temperaturi de + (5...45) °C	Variantă de echipare: FIPA-01 140; FIPA-01 240	Variantă de echipare: FIPA-01 140; FIPA-01 240
7	Corpuri de iluminat etanșe, cu reflector, pentru interior, tip FIPRA-01			0,88 (pt. 1 lampă); 0,74 (pt. 2 lămpi)	"	Variantă de echipare: FIPRA-01 140; FIPRA-01 240	Variantă de echipare: FIPRA-01 140; FIPRA-01 240
8	Corpuri de iluminat anti-explozive, tip CFS-02			0,7	În medii explozive sau cu pericol de incendiu	Variantă constructivă: -- antipierzător; -- antiexploziv. Variante de echipare: CFS-02 -- 114; 120; 140	Variantă constructivă: -- antipierzător; -- antiexploziv. Variante de echipare: CFS-02 -- 114; 120; 140

Tabela 5.12 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6
9	Corp de iluminat antiexploziv, tip CFMS -- 01			"	"	Echipare : CFMS -- 01 240
10	Corpur de iluminat tip TVB - 7			0,73... 0,78	Iluminatul halelor industriale cu înălțimi peste 8 m, al depozitelor în aer liber, al străzilor, șoselelor și piețelor	Montare : suspendat pe cablu (s, sh), în prăgirea stîlpului (p) sau cu posibilitate dublă de montare, în prăgirea sau în consolă (p, c) ; echipare : cu una sau două lămpi LYF sau LPN de 80... 1 000 W.
11	Corp de iluminat tip HVSC -- 04			0,54	Iluminat interior în hale și iluminat exterior	Montare : direct la plafon sau suspendat. Echipare : cu două lămpi cu vapori de sodiu LPN de 250 sau 400 W



12	Corp de iluminat etanș, tip IIV			0.496	Iluminatul în câmpurile umede, în care umiditatea depășește 97% și al încăperilor cu degajări de praf combustibil.	Montare: direct pe grinzi sau suspendat pe cablu. Echipare: cu o lampă de 250W.
13	Corp de iluminat pentru exterior, tip PVA 2a			0.683 (pt. 1 lampă 250 W); 0.64 (pt. 1 lampă 400 W)	Iluminat exterior public sau de incintă, pe șantier de construcții-montaj etc.	Montare pe stîlp cu braț. Echipare cu o lampă cu vapori de mercur de 250 sau 400 W.

Tabloul 5.13

Langiunile de gabarit  $L_c$  ale corpurilor de iluminat cu tuburi fluorescente

Tipul corpului	Tipul lămpilor	Langiuna $L_c$ a corpului [mm]
PTRA	LFA 40	1 255
	LFA 65	1 556
FLAG-01	LFA 20	627
	LFA 40	1 237
	LFA 65	1 537
FIPA, FIPRA	LFA 40	1 390

b) După natura surselor de lumină folosite se disting:

- cu lămpi cu incandescență;
- cu lămpi fluorescente;
- cu lumină mixtă, utilizând combinații de lămpi din ambele categorii.

c) În funcție de direcția luminii emise de corpuri față de planul de utilizare se obține:

- iluminat *dirijat*, caracterizat prin faptul că lumina ajunge pe obiectele iluminate dintr-o direcție principală, ceea ce favorizează producerea umbrelor și realizarea contrastelor;

- iluminat *difuz*, caracterizat prin faptul că lumina nu vine dintr-o direcție principală asupra obiectelor iluminate, ceea ce favorizează reducerea luminanțelor.

d) După amplasarea corpurilor de iluminat în raport cu suprafețele iluminate, instalațiile de iluminat se clasifică în:

- iluminat *general*, care trebuie să realizeze iluminarea uniformă a unor spații sau zone și în care nu se ține seama de necesitățile particulare ale unor porțiuni din acele spații sau zone. Corpurile de iluminat sunt amplasate la distanță față de suprafețele iluminate, astfel încât sistemul de iluminat prezintă o bună difuzie, iar diferențele între luminanțele locurilor de lucru și ale suprafețelor înconjurătoare sunt reduse. Sistemul de iluminat general poate fi *uniform* sau *zonat* (iluminarea medie este aceeași, respectiv diferă de la o zonă la alta);

- iluminat *local*, care trebuie să realizeze iluminarea unor suprafețe relativ mici. În acest sistem de iluminat, corpurile de iluminat sunt amplasate în imediata apropiere a unui sau mai multor locuri de muncă, realizându-se local un nivel de iluminare mai ridicat. Iluminatul local are avantajul realizării unei economii de energie electrică, deoarece suprafețe reduse sunt iluminate cu surse de lumină de mică putere;

- iluminat *combinat*, care constă în iluminarea unei suprafețe prin combinarea iluminatului general cu cel local sau cu iluminat general localizat. În acest caz, sistemul de iluminat general realizează un nivel minim de iluminare, suficient pentru desfășurarea activităților de ansamblu, iar cel local, respectiv general localizat — iluminarea suplimentară a locurilor cu muncă de precizie, mai exigente în privința nivelului de iluminare. Avantajele acestui sistem constau în înlăturarea umbrelor, realizarea unui consum mai redus de energie electrică în comparație cu iluminatul general și reglarea de la sine a fluxului luminos al instalației, după necesități. Costul inițial al instalației se apreciază ca fiind mai mare decât în cazul iluminatului general.

e) În funcție de destinația lor, instalațiile de iluminat se diferențiază în:

- instalații pentru *iluminat normal*, care au drept scop asigurarea condițiilor de desfășurare a activității normale în încăperile sau spațiile din construcțiile industriale sau civile;

- instalații pentru *iluminat de siguranță*, cuprinzând corpurile pentru iluminatul de siguranță și care trebuie să funcționeze în cazul defectării sau nealimentării instalației electrice pentru iluminatul normal;

- instalații pentru *iluminat de pază*, care se prevăd pentru iluminatul necesar asigurării securității clădirilor sau incintelor în timpul nopții.

Instalațiile electrice pentru iluminatul de siguranță, după modul de alimentare și funcționare, sînt de patru tipuri, conform celor indicate în tabelul 5.14. În acest tabel se specifică sursele de alimentare la care se cuplcază instalația de iluminat de siguranță de un anumit tip, aflat în regim de funcționare permanent, cît și la defectarea instalației de iluminat normal, precum și modul în care trebuie să se realizeze trecerea de la o sursă la alta. Se menționează că instalațiile de siguranță de toate tipurile trebuie să funcționeze (să fie aprinse) tot timpul cît există persoane în clădirea respectivă [32].

În tabelul 5.15 sînt prezentate instalațiile electrice pentru iluminatul de siguranță, diferențiate după destinația lor. Dintre acestea, în instalațiile electrice industriale se pot prevedea următoarele instalații pentru iluminat de siguranță:

- pentru continuarea lucrului (tab. 5.15, poz. 1);
- pentru evacuare (tab. 5.15, poz. 2);
- pentru marcarea hidranților de incendiu (tab. 5.15, poz. 3).

Tabelul 5.14

Tipuri de instalații electrice pentru iluminatul de siguranță

Tipul	Sursa de alimentare	Sursa de alimentare		Sursa de alimentare		Sursa de alimentare		Sursa de alimentare		Sursa de alimentare	
		la defectarea iluminatului normal	la defectarea iluminatului normal	la defectarea iluminatului normal	la defectarea iluminatului normal	la defectarea iluminatului normal	la defectarea iluminatului normal	la defectarea iluminatului normal	la defectarea iluminatului normal	la defectarea iluminatului normal	la defectarea iluminatului normal
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	permanent	x									
1	la defectarea iluminatului normal										automat
2	permanent						*				
2	la defectarea iluminatului normal	x	x			x	*				
3	permanent							x			automat
3	la defectarea iluminatului normal			x				x			
4	permanent									x	manual
4	la defectarea iluminatului normal								x		

\* Soluție permisă numai pentru iluminatul de siguranță pentru continuarea lucrului



0	1	2	3	4
5	Pentru veghe	permite supra-vegherea în timpul nopții în anumite încăperi (spitale, creșe etc.)	Încăperi pentru dormitoare cu persoane care nu se pot evacua singure, unde este necesară o supraveghere în timpul nopții.	4(3,2)
6	Pentru marcarea hidranților de incendiu	permite identificarea poziției hidranților în timpul nopții	În clădirile care funcționează noaptea sau la lumină artificială, numai în cazul în care iluminatul de siguranță pentru evacuare din acestea nu asigură distingerea hidranților.	—

Pentru celelalte instalații de iluminat de siguranță, tratate succint în tabelul 5.15, se recomandă, în caz de nevoie, consultarea suplimentară a lucrării [32].

Instalațiile de siguranță contra panicii, pentru circulație, pentru veghe și pentru marcarea hidranților de incendiu se vor alimenta din aceeași sursă ca și iluminatul de evacuare din clădirea respectivă.

## 5.6. CONDIȚIILE DE CALITATE ALE ILUMINATULUI

Luminanța fiind mărimea fotometrică recepționată direct de ochiul omenesc și care determină intensitatea senzației luminoase, calitatea unei instalații de iluminat electric depinde de nivelul și repartiția luminanței în câmpul vizual. Datorită dificultăților de calcul a luminanțelor în diferitele panouri ale suprafețelor de iluminat și de normare a nivelurilor necesare de luminanță, prescripțiile din diferite țări cuprind recomandări pentru nivelurile iluminărilor care trebuie realizate în instalații și dau indicații mai mult calitative în ceea ce privește nivelurile și repartiția luminanțelor.

Condițiile care caracterizează calitatea unei instalații de iluminat sînt următoarele :

- nivelul de iluminare ;
- uniformitatea iluminării ;
- compoziția spectrală a luminii ;
- direcția luminii și umbrele ;
- luminanța și contrastele de luminanță.

Gradul de satisfacere al acestor condiții depinde de importanța instalației și de activitatea care se desfășoară în spațiul de iluminat. Limita superioară a acestui grad este fixată numai de criterii de ordin economic, deoarece instalațiile de iluminat electric nu ating parametrii iluminatului natural, care reprezintă condițiile cele mai favorabile pentru activitatea omenească [11].

a) *Nivelul de iluminare* al suprafețelor sau obiectelor trebuie să aibă o valoare suficient de mare, pentru a corespunde activităților care se desfășoară în spațiul deservit de instalație.

Valorile minime admisibile ale iluminărilor medii pentru clădirile industriale sînt indicate în tabelul 5.16; acestea se referă la planul util sau de lucru (suprafața medie la nivelul căreia se apreciază că se execută lucrările), considerat, în general, la o înălțime de 0,85 ... 1 m față de pardoseală pentru încăperile de producție și la nivelul pardoselii pentru căile de acces și de transport, garaje, depozite de mărfuri și alte încăperi în care lucrul se efectuează la sol.

Tabelul 5.16

Niveluri normale de iluminare medie pentru categorii de lucrări din industrie

Nr. crt.	Categoria lucrării vizuale și dimensiunea minimă a detaliului reprezentativ	Subcategoria lucrării vizuale	Contrastul dintre detaliu și fond	Caracteristicile lumii	Nivelul de iluminare medie recomandat lx
0	1	2	3	4	5
1	I. Lucrări de precizie deosebită (detalii sub 0,1 mm)	a	mic	întunecat	2 000
		b	mic mic mediu	luminos mediu întunecat	2 000
		c	mediu mediu mare	luminos mediu întunecat	1 500
		d	mare	luminos mediu	750
2	II. Lucrări de mare precizie (detalii între 0,1 ÷ 0,3 mm)	a	mic	întunecat	2 000
		b	mic mic mediu	luminos mediu întunecat	1 000
		c	mediu mediu mare	luminos mediu întunecat	750
		d	mare mare	luminos mediu	500
3	III. Lucrări de precizie (detalii între 0,3 ÷ 0,5 mm)	a	mic	întunecat	1 000
		b	mic mic mediu	luminos mediu întunecat	750
		c	mediu mediu mare	luminos mediu întunecat	500
		d	mare mare	luminos mediu	400

Tabloul 5.16 (continuare)

0	1	2	3	4	5
4	IV. Lucrări de precizie medie (detalii între 0,5 ÷ 1 mm)	a	mic	întunecat	750
		b	mic mic mediu	luminos mediu întunecat	350
		c	mediu mediu mare	luminos mediu întunecat	200
		d	mare mare	luminos mediu	150
5	V. Lucrări de precizie mică (detalii peste 1 mm)	—	—	—	150
6	VI. Lucrări care necesită supravegherea generală continuă a procesului de producție. (În punctele unde se fac citiri de aparate, acționări de dispozitive și controlul produselor se va prevedea iluminat general localizat, care va asigura un nivel de iluminare corespunzător dificultății vizuale a lucrărilor de la punctele respective).			—	75
7	VII. Spații de acces la utilaje și instalații cu supraveghere periodică (în zona utilajelor și instalațiilor supuse supravegherii se va asigura un nivel de iluminare corespunzător dificultății lucrărilor vizuale din aceste zone).			—	30

#### Observații.

- Prin dimensiunile detaliilor se înțeleg mărimile anumitor părți ale obiectului privit (de exemplu: firul unei țesături, un punct, o zgârietură, o pată, o cifră, o diviziune sau fracțiune de măsură etc.).
- Se consideră:
  - fond întunecat, dacă coeficientul de reflexie este mai mic de 0,2;
  - fond mediu, dacă coeficientul de reflexie este cuprins între 0,2 și 0,4;
  - fond luminos, dacă coeficientul de reflexie este mai mare de 0,4.
- Contrastul dintre detaliu și fond se consideră:
  - mic pentru valori sub 0,2 (detaliul se distinge slab pe fond);
  - mediu, pentru valori cuprinse între 0,2 și 0,5 (detaliul se distinge simțitor pe fond);
  - mare, pentru valori peste 0,5.

Contrastul se calculează cu relația:

$$X = \frac{I_d}{L_d} \frac{L_f}{L_d}$$

în care:  $I_d$  — iluminanța detaliului, în nit;

$L_d$  — luminața fondului, în nit.

La folosirea iluminatului general combinat cu iluminat local, indiferent de sursa folosită pentru iluminatul local, iluminarea pe planul de lucru dată de instalația de iluminat general va fi de minimum 10% din valoarea indicată în tabelul 5.16, dar nu mai mică de 150 lx și nu mai mare de 500 lx.

În anumite situații, nivelul de iluminare se admite a fi ridicat cu o treaptă de pe scala iluminărilor (v. par. 5.7.7). Dintre acestea se menționează [28]:

— dacă distanța dintre ochi și obiectul observat este mai mare de 0,5 m, la categoriile I ... V de lucrări vizuale;

— dacă efortul vizual are loc în mod continuu, mai mult de jumătate din ziua de lucru sau dacă detaliile urmărite sînt în mișcare, la categoriile I ... V de lucrări vizuale;

— dacă există pericol mărit de accidentare, la categoriile V și VI;

— în încăperile cu exigențe sanitare deosebite (industria alimentară, farmaceutică etc.), cele lipsite de lumină naturală sau cu iluminat natural insuficient, dacă în aceste încăperi se lucrează permanent;

— în încăperile destinate pentru învățămîntul profesional în producție, dacă iluminarea normată este sub 300 lx.

Creșterea nivelului de iluminare cu o treaptă se va aplica o singură dată, chiar dacă în spațiul de lucru respectiv se îndeplinesc simultan două sau mai multe condițiile enumerate mai sus.

În cazul depozitelor interioare cu obiecte voluminoase sau cu materiale în vrac, iluminările medii minim admisibile sînt:

- 50 lx, în depozitele în care există mijloace de transport și macarale;
- 30 lx, în celelalte situații.

În cazul iluminatului de siguranță pentru continuarea lucrului se recomandă adoptarea unor iluminări reprezentînd 10% din nivelul prescris pentru iluminatul normal; în cazuri speciale, nivelul iluminării medii creat de instalația de iluminat de siguranță pentru continuarea lucrului se va stabili după necesitate.

În cazul iluminatului de siguranță pentru evacuare, valorile normate ale iluminării medii se stabilesc la 0,5% din iluminarea medie realizată în încăperi, dar nu sub 0,5 lx în spații închise și 0,3 lx în spații deschise.

Valorile minime ale iluminărilor pentru spațiile industriale deschise sînt date în tabelul 5.17. Nivelurile de iluminare pentru iluminatul exterior

Tabelul 5.17.

Niveluri normate de iluminare pentru categorii de lucrări industriale exterioare

Categorii lucrări vizuale	Caracteristici vizuale	Valoarea iluminării normate orizontale, lx
VIII	Lucrări la care raportul dintre mărimea minimă a obiectului de distingere și distanța de la ochi este de 0,005	50
IX	Lucrări la care raportul de mai sus este cuprins între 0,005 și 0,02	30
X	Lucrări la care raportul de mai sus este cuprins între 0,02 și 0,05	20
XI	Lucrări cu mecanisme care necesită doar o supraveghere atentă generală asupra procesului de producție	10
XII	Lucrări manuale grosiere, care necesită doar o distingere a obiectelor mari, aflate în imediata apropiere a lucrătorilor	5
XIII	Întrări pentru vehicule (porți)	5
	Drumuri auto cu mișcare intensă	2



au valori scăzute, deoarece finețea lucrărilor care se execută în exterior nu este prea mare.

În cazul în care există pericol mărit de accidentare, nivelul de iluminare pentru categoriile *XI* și *XII* se mărește cu o treaptă pe scara nivelurilor de iluminare.

În tabelul 5.18 se indică nivelurile de iluminare pentru căile de circulație și pentru teritoriile întreprinderilor industriale.

Tabelul 5.18

**Niveluri normate de iluminare pentru teritoriile și căile de circulație ale întreprinderilor industriale**

Spațiul de iluminat	Nivelul de iluminare lx	Observații
Depozite de aglomerat, cărbuni, cocs, lingouri de oțel, minereu	20	Industria siderurgică
Magazii descoperite (cherestea, produse finite)	20	"
Parcuri de rezervoare (local)	10...30	Industria chimică
Depozite exterioare (butoaie lăzi)	10	"
Căi ferate (pasaje, ace, cîntare)	10	
Drumuri uzinale	5	Industria siderurgică
Căi de circulație cu trafic intens, intrări pentru vehicule (porți)	3	
Platforme de depozitare	2	Centrale și stații electrice
Pasaje, treceri, podețe de scări etc. cu trafic redus	2	
Stații exterioare, construcții exterioare pentru transformatoare	2	
Drumuri	2	Termocentrale și stații electrice
Căi de circulație cu trafic redus	1	
Iluminat de pază:		
— pe o fișie periferică de 10 m lățime	1	
— pe teritoriu în ansamblu	0,3	

b) *Uniformitatea iluminării* se exprimă prin doi factori de uniformitate: minim-maxim  $E_m/E_M$  și minim-mediu  $E_m/E_{med}$ , ale căror valori minime admisibile sînt date în tabelul 5.19.

Instalațiile de iluminat trebuie să asigure o iluminare cît mai uniformă pe planul util, evitîndu-se prin aceasta obosirea ochiului supus unor eforturi repetate de adaptare, de la un nivel de iluminare la altul.

Tabelul 5.19

**Valorile minime admisibile ale factorilor de uniformitate a iluminărilor**

Categoriile construcțiilor	Factori de uniformitate	
	$E_m/E_M$	$E_m/E_{med}$
Construcții industriale categoriile I, II, III, IV, V	0,3	0,65
Construcții industriale categoriile VI, VII	0,2	0,4
Pe planul de lucru la locurile de muncă	0,65	—
Construcții civile	—	0,5
Suprafețe de circulație	—	0,25

Uniformitatea iluminării se realizează prin amplasarea corespunzătoare a corpurilor de iluminat. La iluminatul direct, pentru a realiza o repartitie cât mai uniformă a iluminărilor pe planul de lucru, corpurile de iluminat trebuie să fie montate la o înălțime cât mai mare și la distanțe cât mai mici unul de celălalt. La iluminatul indirect, corpurile de iluminat trebuie să fie amplasate la înălțimi mai mici față de planul util, pentru a se asigura o repartitie cât mai uniformă a iluminărilor pe tavan.

c) *Compoziția spectrală* a luminii influențează contrastul dintre detaliu și fond și redarea culorilor, determinând efectul fiziologic și psihologic al iluminatului.

Sursele de lumină trebuie să aibă, în general, o culoare corespunzătoare particularităților locurilor iluminate. Pentru a se evita contrastele neplăcute de culoare, nu se vor utiliza surse de culori diferite în iluminarea unei suprafețe de lucru [8].

Confortul vizual este direct legat de culoare și de nivelul de iluminare. Culorile caracterizate printr-o temperatură de culoare mai mică (zona galben—roșu) se numesc culori calde, deoarece creează o ambianță plăcută, odihnitoare; acestea se utilizează în cazul unor nivele de iluminare mai scăzute. Culorile caracterizate prin temperaturi de culoare ridicate (spre alb—albastru), denumite reci din considerente psihologice, se întâlnesc la nivele de iluminare ridicate.

Corelația între culoare, caracterizată prin temperatura de culoare și nivelul de iluminare, pentru realizarea confortului vizual este exprimată prin diagrama de confort vizual a lui Kruithof, prezentată în figura 5.17. Pe diagramă sunt trasate dreptele de abscisă constantă pentru temperaturile de culoare ale tuburilor fluorescente, marcarea fiind făcută prin simbolurile corespunzătoare ale culorilor (v. tab. 5.2).

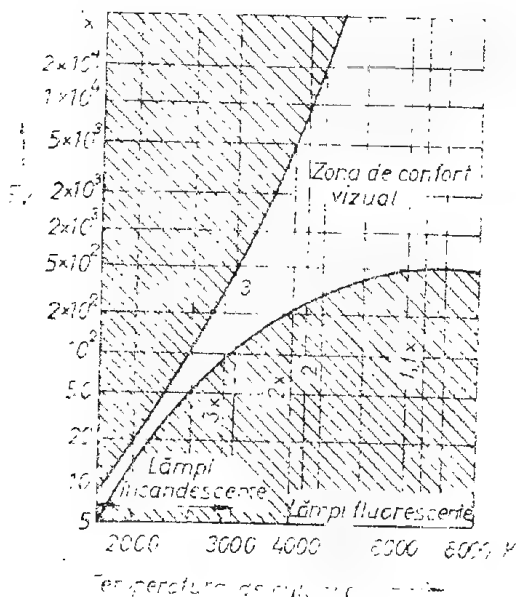


Fig. 5.17 Diagrama de confort vizual a lui Kruithof.

La iluminatul exterior, redarea culorilor poate fi mai puțin importantă și în orice caz, subordonată criteriilor economice.

d) *Direcția luminii* și umbrele depind în mare măsură de sistemul de iluminat.

Obiectele iluminate cu lumină dirijată prezintă umbre accentuate, marginile lor sunt bine reliefate, ceea ce asigură perceperea ușoară a detaliilor; contrastele de luminanță sunt însă mari.

În opoziție cu această situație se prezintă iluminarea obiectelor în lumină general difuză, obținută printr-o așezare regulată și simetrică a corpurilor de iluminat. Obiectul fiind iluminat din mai multe direcții, prezintă umbre slabe, contras-

tele de luminanță sînt mai mici, creîndu-se o ambianță plăcută și reconfortantă.

c) *Luminanța și contrastele de luminanță* sînt factori de calitate dintre cei mai importanți pentru instalațiile de iluminat, deoarece, așa cum s-a mai arătat, luminanța este mărimea care influențează direct ochiul omenească.

Dacă luminanța obiectelor (surse de lumină, obiecte privite etc.) aflate în câmpul vizual depășește anumite valori, pot avea loc fenomene de orbire (orbirea este o senzație vizuală neplăcută însoțită de reducerea aptitudinii de a distinge obiectele).

Pentru înlăturarea orbirii, corpurile de iluminat trebuie să fie prevăzute cu elemente de protecție (diuzante), care să reducă luminanța acestora, în înălțimea minimă de suspendare a corpurilor să se coreleze cu unghiul de protecție, luminanța și puterea lămpilor corpului, conform tabelului 5.20.

Factorii de reflexie și culorile diferitelor părți ale suprafețelor din interiorul încăperilor determină repartitia valorilor luminanțelor pe aceste suprafețe.

Pentru evitarea sau diminuarea fenomenului de orbire, provocat de contrastele de luminanță ale diferitelor suprafețe din câmpul vizual, se recomandă respectarea următoarelor raporturi :

— 3 : 1 între luminanțele obiectului observat și a câmpului vizual din imediata vecinătate ;

— 10 : 1 între luminanțele obiectului observat și a câmpului vizual înconjurător ;

— 20 : 1 între luminanțele corpurilor de iluminat și a suprafețelor învecinate ;

— 40 : 1 între luminanțele a două puncte oarecare din câmpul vizual.

## 5.7. PROIECTAREA INSTALAȚIILOR DE ILUMINAT INTERIOR

### 5.7.1. DATE DE PROIECTARE

Cunoașterea detaliată a tuturor mărimilor și aspectelor, de care trebuie ținut cont în proiectarea instalațiilor de iluminat, este de o importanță primordială. În mod firesc, toate *datele inițiale de proiectare* se referă la încăperea pentru care se face proiectarea iluminatului și la activitățile care se desfășoară în ea. Acestea sînt :

a) denumirea încăperii, din care să rezulte destinația sa ;

b) dimensiunile încăperii : lungimea  $L_1$ , lățimea  $L_2$  și înălțimea  $H$ , în m ;

c) caracteristicile mediului din încăpere și încadrarea acesteia din punct de vedere al pericolului de incendiu și explozie, necesare la stabilirea gradului de protecție a echipamentelor și a tehnologiei de execuție a instalației. De asemenea, trebuie precizat modul în care se degajă praful, fumul sau fumul, ceea ce determină factorul de depreciere  $\Delta$  al corpu-

Tabelul 5.20.

## Înălțimile minime de suspendare și unghiurile de protecție pentru montarea corpurilor de iluminat

Destinația încăperii	Corpurile de iluminat cu reflector					Corpurile de iluminat din materiale difuzante, cu luminanța de max. 5 000 nt	
	Lămpi cu luminanța minimă de 10 000 nt	Lămpi cu o luminanță de la 5 000 până la 10 000 nt			Unghiul de protecție [m]	Puterea lampii [W]	Dimensiunile maxime ale inciperilor în care se montează
	Înălțimea de montare deasupra pardoselii [m]	Unghiul de protecție	Înălțimea de montare deasupra pardoselii [m]	Unghiul de protecție			
0	1	2	3	4	5	6	7
Școli, birouri și instalații industriale speciale	Nu se recomandă						8
Interioroare industriale, în general	min 6	Orice fel	15°	Oricâte	45° în plan transversal față de axa lămpii, 30° în plan paralel cu axa lămpii	max. 200	4H <sub>0</sub>
	2,5 : 6	100 : 300	20°	min 6		min. 200	3H <sub>0</sub>
	max 2,5	1 000 : 150	30°	max 6		max. 200	5H <sub>0</sub>
Încăperi cu iluminat local			30°		20°	min. 200	4H <sub>0</sub>
Depozite, treceri, încăperi, în care nu se lucrează în permanență etc.			10°	Nu este obligatorie ecranarea dacă lampa nu este vizibilă de la locul de muncă			Oricât de mare
						Luminanța maximă 1 500	
						Nu se limitează	

Observații: H<sub>0</sub> este înălțimea de montare a corpurilor de iluminat, măsurată de la nivelul ochilor, în m ;

— Înălțimile de montare din acest tabel nu sunt obligatorii în cazul folosirii lămpilor cu incandescență cu balon de sticlă opacă, cu o putere de maximum 40 W, cum și a corpurilor de iluminat cu o luminanță de maximum 1 500 nt ;

— Se vor considera lămpi cu luminanța mai mare de 10 000 nt cele cu incandescență, cele cu vapori de sodiu ; lămpi cu luminanța între 5 000 și 10 000 nt se vor considera tuburile fluorescente.

Factorul de depreciere  $\Delta$  al corpurilor de iluminat în instalațiile industriale

Caracteristicile încăperii	Factori de depreciere $\Delta$		Perioadeitatea de curățare a corpurilor de iluminat
	lămpi cu descărcări sau fluorescente	lămpi cu incandescență	
Încăperi în care se degajă mult praf, fum sau funingine (turnătorii, fabrici de ciment, filaturi etc.)	1,8	1,5	o dată pe lună
Încăperi cu degajare medie de praf, fum sau funingine (încăperi normale din industrie).	1,5	1,3	o dată la trei luni
Încăperi cu puțin praf, fum sau funingine (laboratoare, birouri etc. și în spații exterioare.	1,5	1,1	o dată la șase luni

rilor de iluminat, conform tabelului 5.21, acest factor de depreciere indică reducerea fluxului luminos al corpurilor de iluminat în timpul exploatării, datorită murdăririi și uzurii acestora;

d) amplasarea utilajelor, a locurilor de muncă și caracterul lucrărilor care se execută în încăpere. Pe această bază, din tabelul 5.16 se determină iluminarea medie minimă  $E_{adm}$ , stabilindu-se în același timp înălțimea  $h_a$  a planului de utilizare.

Este util a se cunoaște dacă utilajele dispun de corpuri de iluminat local și de ce tip;

e) categoriile receptoarelor și numărul persoanelor din încăpere, cu ajutorul cărora se stabilesc, pe baza tabelului 5.15, felurile instalațiilor de iluminat de siguranță care trebuie prevăzute;

f) existența unor mecanisme și piese în mișcare de rotație, caz în care urmează a se lua măsuri de limitare a efectului stroboscopic;

g) structura și zăgăzveala pereților și a tavanului. Astfel, structura tavanului prezentind grinzi, nervuri etc. influențează în mare măsură amplasarea corpurilor de iluminat. Existența unor stâlpi sau coloane de susținere trebuie avută de asemenea în vedere. Structura pereților este determinată pentru alegerea tehnologiei de execuție a instalației.

În funcție de zăgăzveala pereților și tavanului, se determină [3] factorii de reflexie ai pereților  $\rho_p$ , respectiv tavanului  $\rho_t$ ; dacă pereții sau tavanul prezintă zone cu coeficienți de reflexie diferiți (zăgăzveli diferite, ferestre, panouri montate pe pereți etc.), se recomandă determinarea unor coeficienți de reflexie echivalenți, prin medii ponderate.

Contribuția iluminatului natural trebuie precizată, pentru a se avea în vedere partiționarea iluminatului normal și necesitatea prevederii iluminatului de siguranță de evacuare;

h) pozițiile și dimensiunile căilor de acces; dacă acestea sunt comune sau nu și pentru alte încăperi;

i) existența unor utilaje de mari dimensiuni, a podurilor rulante, a instalațiilor electrice de forță, de încălzire, ventilație etc.

## 5.7.2. ALEGEREA SISTEMULUI DE ILUMINAT ȘI A ECHIPAMENTULUI ELECTRIC

Alegerea corectă a sistemului de iluminat prezintă importanță atât din punct de vedere al eficienței instalației de iluminat, cât și din punct de vedere al economicității ei.

Primul criteriu de alegere a sistemului de iluminat (general-uniform sau zonat, iluminat general combinat cu iluminat local sau cu iluminat general localizat) este legat de destinația și scopul instalației.

Astfel, sistemul de iluminat general se adoptă în următoarele cazuri:

- activitățile nu au un caracter localizat;
- densitatea locurilor de muncă este mare;
- atenția persoanelor trebuie să fie distribuită pe suprafețe mai mari.

Sistemul de iluminat general uniform se adoptă pentru:

- spațiile de lucru în care totalitatea lucrărilor se încadrează în aceeași categorie de dificultate vizuală, dacă nivelul de iluminare normat nu depășește 500 lx;
- spațiile de lucru în care locurile de muncă nu au o poziție fixă.

În primul caz, nivelul mediu de iluminare generală va fi corespunzător categoriei de dificultate vizuală în care se încadrează lucrările. În cazul al doilea, nivelul de iluminare este determinat de încadrarea lucrărilor predominante din încăpere, urmînd ca pentru lucrările mai pretențioase să se folosească iluminatul local.

Sistemul de iluminat general zonat se va folosi în halele monobloc, în care diversele faze ale procesului tehnologic se efectuează în zone bine delimitate. Nivelul de iluminare în fiecare zonă va corespunde dificultății vizuale a lucrărilor din zona respectivă.

Sistemele de iluminat combinat sau localizat se recomandă cînd se cer niveluri de iluminat superioare, pentru locuri de muncă izolate, în care activitatea are un caracter individual. Aceste sisteme aduc o serie de avantaje din punct de vedere al iluminatului și din punct de vedere economic, printre care se menționează următoarele:

- este posibilă amplasarea corpului de iluminat local (suplimentar) în poziția cea mai avantajoasă, în funcție de natura lucrărilor;

- se realizează nivelurile de iluminare locale ridicate, cu surse de lumină de puteri mici;

- se pot obține, în funcție de necesități variații de culoare a luminii, limitate la zone locale;

- cheltuielile de întreținere sînt mai mici decît la sistemul de iluminat general;

- economicitatea instalației este superioară, deoarece nivelul de iluminare generală poate fi menținut la o valoare mai mică, iar lămpile locale se pot scoate din funcțiune individual, menținîndu-se iluminatul local numai în zonele în care se desfășoară activitatea.

În vederea economisirii energiei electrice, la proiectare se va urmări reducerea ponderii iluminatului general uniuor și extinderea iluminatului localizat și a celui local [28].

Sistemul de iluminat general combinat cu iluminat local se va folosi în spațiile în care lucrările se încadrează în diferite categorii de dificultate vizuală, iar locurile de muncă nu sînt grupate în zone bine delimitate în funcție de dificultatea vizuală a lucrărilor. Nivelul de iluminare general

din încăperea va fi cel corespunzător categoriei de dificultate vizuală în care se încadrează numărul cel mai mare de lucrări, iar pentru lucrările mai pretențioase se va prevedea iluminat local suplimentar.

Sistemul de iluminat general combinat cu iluminat general localizat se va aplica în spațiile în care lucrările se încadrează în diferite categorii de dificultate vizuală, iar locurile unde se efectuează lucrări pretențioase sînt grupate în zone bine delimitate. Nivelul de iluminare general din încăperea se alege corespunzător categoriei de dificultate vizuală în care se încadrează lucrările cu ponderea cea mai mare în încăperea. Dacă nivelul de iluminare necesar este mai mare de 500 lx, se stabilește nivelul de iluminare mediu general la minimum 10% din iluminarea normată pe planul de lucru, dar nu mai puțin de 150 lx. Pentru lucrările mai pretențioase se prevede un iluminat general localizat, care să ridice iluminarea planului de lucru la nivelurile normate corespunzătoare.

Alegerea surselor electrice de lumină se poate face pe baza recomandărilor din tabelul 5.22, indicații suplimentare fiind cuprinse în lucrarea [3].

Tabelul 5.22

Indicații privind alegerea surselor electrice de lumină

Tipul activității sau încăperii	Lămpi cu incandescență	Lămpi fluorescente
— Lucru continuu ( $t > 8$ h zi), $E < 100$ lx	R	P
— Lucru continuu ( $t > 8$ h zi), $E > 100$ lx	P	R
— Lucru intermitent ( $t < 2$ h zi)	R	P
— Lucru cu aprinderi frecvente ( $t > 20$ zi)	R	P
— Lucru cu aprinderi rare ( $t < 20$ zi)	P	R
— Lucru la temperatura $-18^{\circ}\text{C}$ ... $-40^{\circ}\text{C}$	N	N
— Lucru la temperatura $-18^{\circ}\text{C}$ sau $-40^{\circ}\text{C}$	R	N
— Lucru în hale industriale	N	R
— Lucru la piese în rotație	P	P**
— Odihnă, recreație	R	P
— Iluminat local în clădiri	R	P
— Iluminat de siguranță în clădiri	R	P*
— Iluminat exterior	P	P

Notă. R — recomandat; P — permis; N — nepermis (interzis).

\* Tipul tuburilor va fi ales conform condițiilor din normativul I. 7—78.

\*\* Numai cu montaje prin care se reduce pîlpîrea.

În ceea ce privește corpurile de iluminat, acestea trebuie să corespundă surselor de lumină alese și să aibe gradul de protecție cerut de mediul din încăperea. Alegerea corpurilor de iluminat se poate face consultînd indicațiile de utilizare din tabelele 5.11 și 5.12, ținînd cont de cerința de a se prevedea corpurile de iluminat cu distribuția directă, semidirectă sau mixtă a fluxului luminos, evitînd pe cele cu distribuție indirectă, care se vor folosi numai în cazuri excepționale [28].

Dacă tavanul încăperii are proprietăți reflectante și poate contribui la iluminarea planului de lucru, este recomandabil să se aleagă corpurile de iluminat cu o distribuție semidirectă sau mixtă a fluxului luminos.

Având în vedere că alegerea sursei de lumină și a corpului de iluminat nu poate fi considerată definitivă în acest stadiu al proiectării, se recomandă doar o alegere de principiu, care să nu implice neapărat precizarea și a puterii lămpilor, a numărului de lămpi din corp etc.

### 5.7.3. STABILIREA NIVELULUI DE ILUMINARE

În raport cu sistemul de iluminat ales se stabilește, pe baza tabelului 5.16, valoarea minimă admisibilă  $E_{adm}$  a iluminării medii, ținând cont și de categoria lucrărilor din încăpere.

Pentru ușurarea încadrării unor spații de lucru specifice diferitelor ramuri industriale cu niveluri normate de iluminare medie, se recomandă consultarea suplimentară a lucrării [28].

Dacă s-a ales iluminatul combinat, se stabilește în prealabil iluminarea  $E_p$  pe care o poate produce sistemul de iluminat local sau general localizat, rămânând ca prin iluminatul general să se realizeze iluminarea medie

$$E_g = E_{adm} - E_p \quad (5.27)$$

care trebuie să respecte indicațiile date la paragrafele 5.6 și 5.7.2.

Deoarece în continuare se dimensionează numai instalația de iluminat general, se menține notația  $E_{adm}$  pentru iluminarea medie minimă pe care aceasta trebuie să o realizeze, fie că această valoare s-a obținut direct din tabelul 5.16, fie că s-a calculat cu relația (5.27). De asemenea, indicele  $v$  utilizat la mărimile fotometrice se va evita în continuare, din considerentul de simplificare a notațiilor.

### 5.7.4. AMPLASAREA CORPURILOR DE ILUMINAT GENERAL

**A.** Înălțimea de suspendare  $h$  a corpurilor deasupra planului util se stabilește în funcție de considerente constructive sau practice. De exemplu, în unele hale industriale, corpurile de iluminat se așază pe fermele acoperișului, deasupra podurilor rulante, astfel că înălțimea lor de suspendare este impusă. În general, înălțimea de suspendare se determină cu relația

$$h = H - h_u - h_c, \quad (5.28)$$

în care  $H$  este înălțimea încăperii;

$h_u$  — înălțimea planului util față de pardoseală;

$h_c$  — lungimea pendulului corpului, dictată de tipul de corp ales, de evitarea fenomenului de orbire (v. tab. 5.20) și de posibilitățile concrete de amplasare a corpurilor pe tavan. Lungimea pendulului nu poate fi aleasă prea mare, pentru a se evita intrarea în oscilație a corpurilor de iluminat.

Limita inferioară a înălțimii de suspendare este determinată de evitarea efectului de orbire, iar limita superioară — de înălțimea tavanului.

**B.** Amplasarea în plan a corpurilor de iluminat este strâns legată de îndeplinirea condițiilor de uniformitate a iluminării și de iluminare admisibile.



Prin amplasarea corpurilor de iluminat la distanțe mici între ele, se obține o bună uniformitate, însă costul instalației rezultă exagerat.

Este necesar să se aleagă o soluție cât mai economică (număr minim de corpuri,  $E_{med} \approx E_{atm}$ ), care să conducă la respectarea factorilor de uniformitate ceruți. Prin urmare, la amplasarea în plan a corpurilor de iluminat se urmărește determinarea numărului minim de corpuri, care asigură iluminarea planului de lucru în condițiile de uniformitate impuse.

Recomandările de amplasare corespunzătoare a corpurilor de iluminat se dau în funcție de tipul corpului, tipul sursei de lumină și cotele verticale de montaj ale corpurilor de iluminat.

Corelarea amplasării în plan, deci a distanțelor dintre corpuri, cu cotele verticale de montaj se face prin intermediul distanței relative  $d_*$  dintre corpurile de iluminat:

$$d_* = \frac{d}{h} \quad (5.29)$$

În cazul iluminatului direct,  $h$  reprezintă înălțimea de suspendare deasupra planului util, iar în cazul iluminatului mixt și indirect se folosește înălțimea pendulului  $L$  (distanța de la corpul de iluminat la tavan).

Amplasarea în plan a corpurilor se tratează separat pentru corpurile punctiforme și cele liniare. Un corp de iluminat poate fi considerat punctiform dacă cea mai mare dintre dimensiunile sale  $L_c$  îndeplinește relația:

$$\frac{L_c}{h} < \frac{1}{5} \quad (5.30)$$

în care  $h$  este înălțimea de suspendare deasupra planului util. La o sursă liniară, cea mai mare dintre dimensiunile corpului nu îndeplinește relația (5.30), dar cea mai mică trebuie să fie conform acestei relații, altfel sursa trebuie considerată panou luminos.

#### 1) Amplasarea surselor punctiforme

Disponerea uniformă a corpurilor de iluminat se obține prin așezarea acestora în vîrfurile unor dreptunghiuri sau triunghiuri, orientate în raport cu dimensiunile încăperii, după cum se indică în figura 5.18.

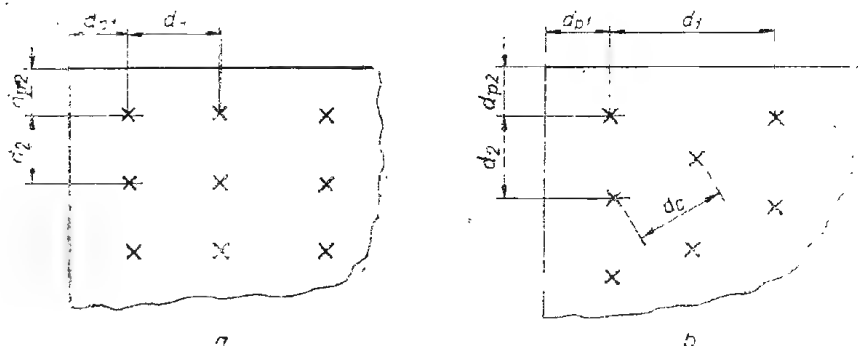


Fig. 5.18. Amplasarea în plan a surselor punctiforme:

a -- în vîrfurile unor dreptunghiuri; b -- în vîrfurile unor triunghiuri.

Valorile distanței relative  $d_*$ , dintre două corpuri de iluminat apropiate, depinde de felul distribuției fluxul luminos pe care acestea o realizează (forma curbei fotometrice):

- la iluminatul direct cu lămpi fluorescente . . .  $d_* = 0,5 \dots 1,0$ ;
- la iluminatul direct cu lămpi cu incandescență . . .  $d_* = 0,5 \dots 0,7$ ;
- la iluminatul mixt . . . . .  $d_* = 1,0 \dots 1,2$ ;
- la iluminatul indirect . . . . .  $d_* = 1,2 \dots 1,5$ .

Pentru un anumit factor de uniformitate, soluția optimă din punct de vedere economic se obține dacă  $d_1 = d_2$  în cazul așezării în dreptunghi și  $d_2 = d_1$  sau  $d_1 = \sqrt{3}d_2$ , în cazul așezării în triunghi.

Distanța  $d_p$  de la ultimul rind de corpuri pînă la perete se alege

$$d_p = k_p d, \quad (5.31)$$

în care coeficientul  $k_p$  are valoarea

$$k_p = (0,25 \dots 0,3), \quad (5.32)$$

cînd există utilaje sau mese de lucru amplasate în apropierea pereților și

$$k_p = (0,4 \dots 0,5), \quad (5.33)$$

cînd lângă pereți există spațiu de trecere.

Ținînd cont de faptul că pe una din dimensiunile  $L_i$  ale încăperii se dispun  $N_i$  corpuri, deci  $(N_i - 1)$  distanțe dintre corpuri, iar la capete mai rămîie cîte o distanță  $d_p$  pînă la pereți, se poate scrie egalitatea

$$L_i = (N_i - 1)d_i + 2k_p d_i, \quad (5.34)$$

în care  $d_i = d_{gh}$  reprezintă distanța dintre două corpuri pe direcția în care dimensiunea încăperii este  $L_i$ .

Din relația (5.34) se poate determina numărul de corpuri pe dimensiunea  $L_i$  a încăperii:

$$N_i = \frac{L_i}{d_{gh}} + (1 - 2k_p), \quad i = 1; 2. \quad (5.35)$$

Prin această relație, limitei inferioare  $d_{ghm}$  îi corespunde un număr maxim de corpuri  $N_{gm}$ , iar limitei superioare  $d_{ghM}$  — un număr minim de corpuri  $N_{gm}$ . Numărul de corpuri ales  $N_i$  se va încadra între aceste limite:

$$N_{gm} \leq N_i \leq N_{gm}, \quad (5.36)$$

cît mai apropiat de limita inferioară  $N_i \approx N_{gm}$ , astfel încît iluminarea medie realizată să depășească cu o valoare minim posibilă iluminarea medie minimă. În calcule se recomandă a se porni cu numărul minim de corpuri.

Determinarea numărului de corpuri  $N_i$  pe o dimensiune  $L_i$  a încăperii conform relației (5.36), se poate face cu ajutorul nomogramei din figura 5.19, parcurgînd-o în sensul indicat prin săgeți, cu valorile concrete de calcul pentru mărimile care intervin.

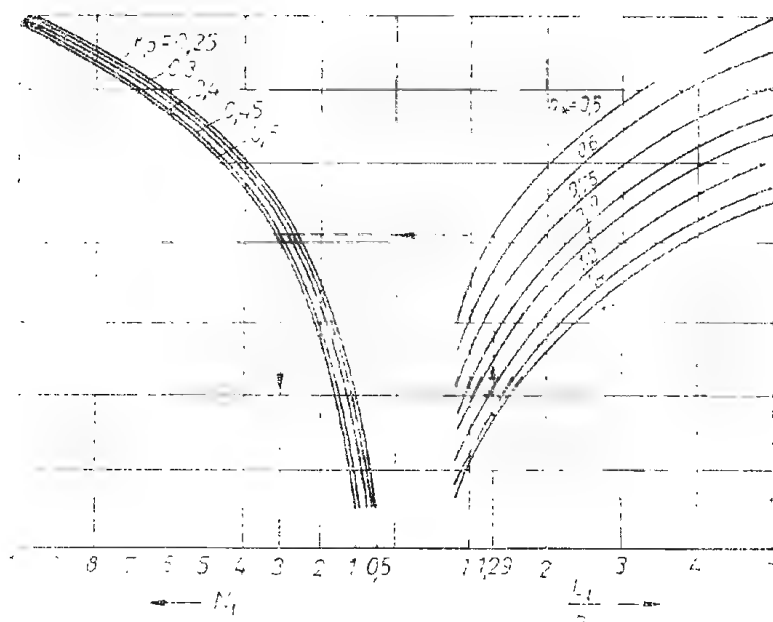


Fig. 5.19. Nomogramă pentru determinarea numărului  $N_l$  de corpuri de iluminat pe o dimensiune  $L_l$  a încăperii.

## 2) Amplasarea surselor liniare

Corpurile de iluminat cu tuburi fluorescente se repartizează de obicei în benzi continui sau discontinue, după cum se indică în figura 5.20.

Valorile recomandate pentru distanțele relative sînt:

—  $d_{1*} \leq 0,7$ , în cadrul aceleiași benzi;

—  $d_{2*} \leq 0,6$ , între două benzi paralele.

Distanța la perete se încalzează la fel ca și la sursele punctiforme.

Spre deosebire de cazul surselor punctiforme, dimensiunea încăperii paralelă cu benzile este:

$$L_1 = (N_1 - 1)d_1 + L_0 + 2k_p d_1, \quad (5.37)$$

astfel că numărul de corpuri pe bandă este:

$$N_1 = \frac{L_1 - L_0}{d_{1*}h} + (1 - 2k_p); \quad (5.38)$$

în aceste relații  $L_0$  este lungimea corpului de iluminat.

După definitivarea numărului de corpuri  $N_1$  din cadrul unei benzi trebuie verificat ca distanța  $d_1$  dintre două corpuri apropiate

$$d_1 = \frac{L_1 - L_0}{(N_1 - 1) + 2k_p}, \quad (5.39)$$

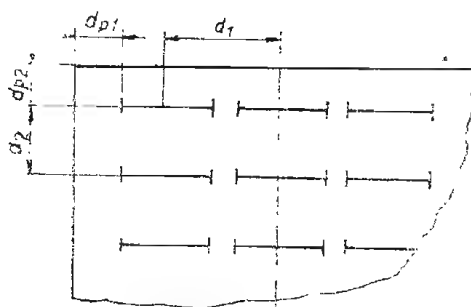


Fig. 5.20. Amplasarea în plan a surselor liniare (tuburi fluorescente).

să fie mai mare decât lungimea de gabarit  $L$ , a corpului de iluminat (v. tab. 5.13)

$$d_1 > L.$$

După determinarea prin calcul sau cu ajutorul nomogramei din figura 5.19 a numerelor de corpuri  $N_1$  și  $N_2$  amplasate pe lungime, respectiv lățime, se calculează numărul total de corpuri  $N$ , din încăpere

$$N = N_1 \cdot N_2. \quad (5.40)$$

### 5.7.5. CALCULUL FOTOMETRIC PRIN METODA FACTORULUI DE UTILIZARE

Această metodă permite determinarea iluminării medii orizontale pe planul util al unei încăperi, ținând seama de fluxul luminos reflectat de pereți și tavan. Metoda nu poate fi folosită la calculul iluminatului local, iluminatului suprafețelor înclinate și verticale, iluminatului cu corpuri de iluminat de dimensiuni mari.

Din fluxul total  $\Phi_n$  al tuturor surselor de lumină montate în corpurile de iluminat dintr-o încăpere, numai o parte  $\Phi_u$  este distribuită în încăpere (fig. 5.21), datorită pierderilor de flux din corpuri (prin absorbție de către elementele componente ale sistemului optic). Pierderi ale fluxului se înregistrează și în încăpere, datorită absorbției luminii de către pardoseală, pereți și tavan, astfel încât pe planul util ajunge numai o parte a fluxului  $\Phi_u$ , numită flux util  $\Phi_{ut}$ .

Raportul dintre fluxul util și fluxul total al lămpilor definește factorul de utilizare  $u$

$$u = \frac{\Phi_u}{\Phi_n}, \quad (5.41)$$

în expresia căruia poate fi evidențiat randamentul corpurilor, conform relației

$$u = \frac{\Phi_u}{\Phi_n} \cdot \frac{\Phi_{ic}}{\Phi_u} = \eta_c \eta_{ic}; \quad (5.42)$$

$\eta_c = \Phi_u/\Phi_n$  este un randament al încăperii, denumit *utilanță*.

Deoarece fluxul util inițial  $\Phi_u$  se poate determina dacă se cunosc suprafața  $A$  a planului util, iluminarea medie minimă  $E_{adm}$  și factorul de depreciere  $\Delta$ , în baza relației (5.15) de legătură dintre aceste mărimi și care se scrie în acest caz

$$\Phi_u = \Delta E_{adm} A, \quad (5.43)$$

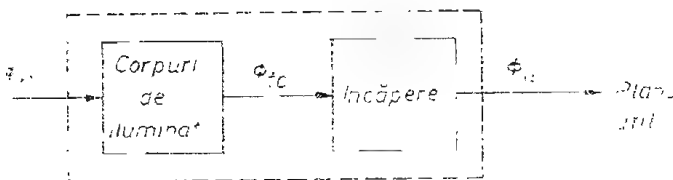


Fig. 5.21. Explicativă pentru definirea factorului de utilizare.

problema calculului fluxului total  $\Phi_{it}$  al lămpilor se rezolvă cu relația (5.41) dacă se cunoaște factorul de utilizare.

Pupă cum reiese din relația (5.42), factorul de utilizare depinde de o serie de parametri ca:

- randamentul corpurilor de iluminat;
- distribuția fluxului luminos al corpurilor în cele două emisii (direct, semidirect, mixt etc.);
- factorii de reflexie ai pereților  $\rho_p$  și tavanului  $\rho_t$ ;
- forma încăperii.

Forma unei încăperi se caracterizează prin indicele  $i$  al încăperii, definit de relația:

$$i = \frac{L_1 L_2}{h(L_1 + L_2)}, \quad (5.44)$$

care reprezintă raportul dintre aria planului util și 1/2 din aria laterală a pereților, care contribuie la iluminarea planului util prin lumina reflectată de aceștia.

Factorii de utilizare sînt tabelați [11, 16] în funcție de parametrii menționați. Deoarece există și alte relații de calcul ale indicelui încăperii [3], factorii de utilizare se vor determina din acele tabele, la întocmirea cărora indicele încăperii s-a calculat cu relația considerată.

Dacă randamentul  $\eta'_c$  al corpurilor de iluminat, care s-a ales la paragraful 5.7.2, este diferit de randamentul  $\eta_c$  avut în vedere la stabilirea valorilor factorului de utilizare, factorul de utilizare  $u$  obținut trebuie corectat cu relația

$$u' = u \frac{\eta'_c}{\eta_c}, \quad (5.45)$$

$u'$  fiind factorul de utilizare real.

Din relațiile (5.41) și (5.43) se deduce expresia pentru calculul fluxului total al lămpilor din încăpere

$$\Phi_{it} = \frac{E_{adm} A \Delta}{u'}. \quad (5.46)$$

Fluxul lămpilor dintr-un corp  $\Phi_{ic}$  este dat de relația

$$\Phi_{ic} = \frac{\Phi_{it}}{N_c} \quad (5.47)$$

sau introducînd expresia pentru  $\Phi_{it}$  conform relației (5.46) se obține:

$$\Phi_{ic} = \frac{E_{adm} A \Delta}{u' N_c}, \quad (5.48)$$

relație care stă la baza întocmirii nomogramei din figura 5.22.

Cu ajutorul nomogramei se poate determina fluxul lămpilor dintr-un corp, dacă se atribuie iluminării medii  $E_{ma}$  (din primul cadran) valoarea medie minimă admisibilă  $E_{adm}$ .

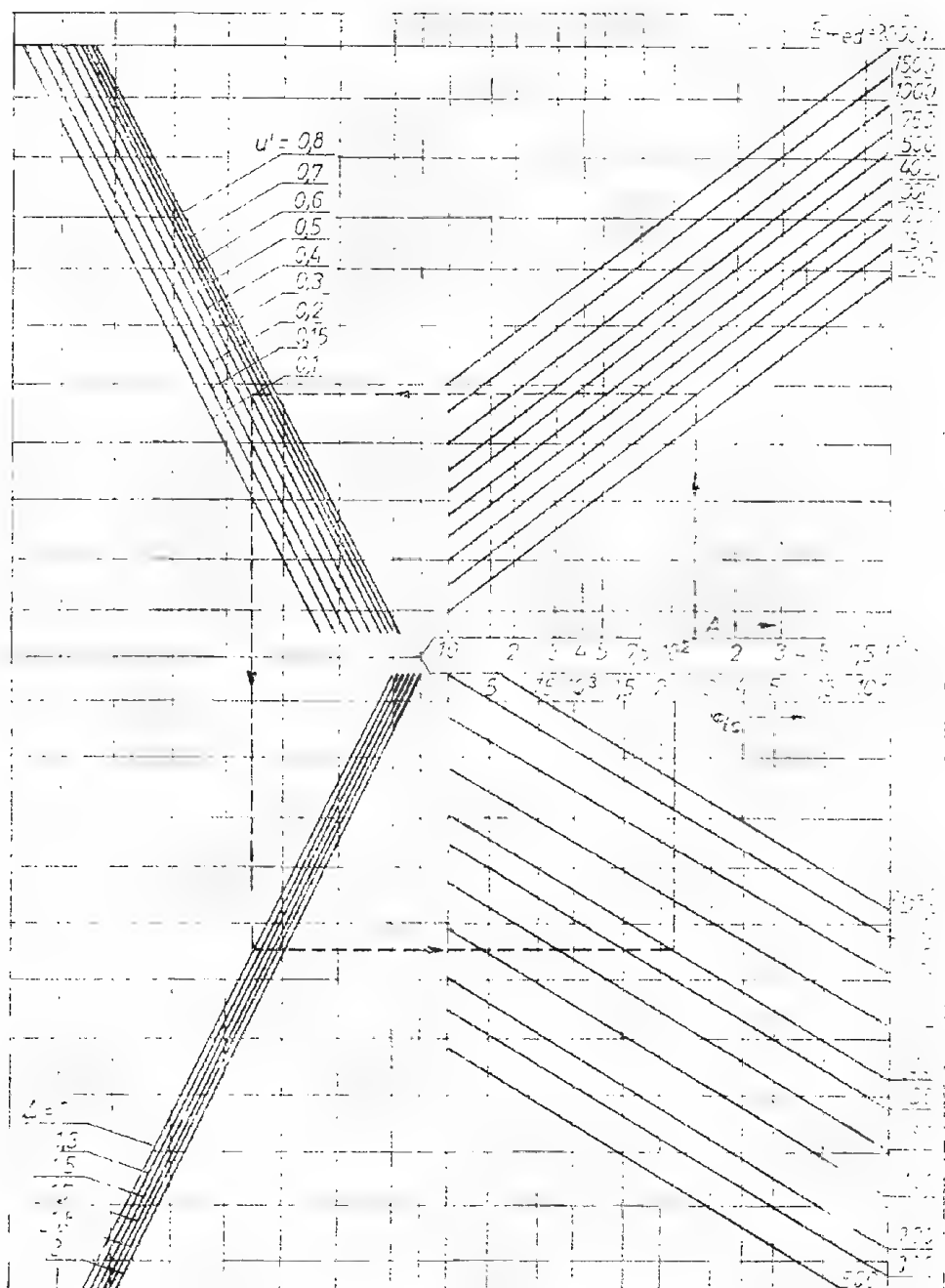


Fig. 5.22. Nomogramă pentru calculul fluxului luminos al lămpilor într-un corp pe baza metodei factorului de utilizare.

## 5.7.6 DEFINITIVAREA TIPULUI DE SURSĂ DE LUMINĂ ȘI DE CORP DE ILUMINAT

În cadrul paragrafului 5.7.2. s-a propus o alegere de principiu a sursei de lumină și a corpului de iluminat.

În continuare, cunoscând fluxurile nominale  $\Phi'_i$  ale lămpilor (tab. 5.1, 5.3 și 5.4), numărul de lămpi  $N_i$ , care se pot monta în corpurile de iluminat (tab. 5.11 și 5.12) și fluxul minim necesar  $\Phi_i$  pentru lămpile din corp (rel. 5.48 sau nomograma din fig. 5.22), se poate trece la definitivarea tipului de sursă de lumină și de corp de iluminat.

Dintre combinațiile posibile, se alege acea produs

$$\Phi'_i = \Phi'_i \cdot N_i, \quad (5.49)$$

care dă o valoare mai mare, dar cât mai apropiată de  $\Phi_i$ .

$$\Phi'_i \geq \Phi_i, \quad (5.50)$$

În cazul tuburilor fluorescente se vor lua în considerare numai acele tipuri, a căror temperatură de culoare se încadrează între limitele admise de diagrama de confort vizual a lui Kruithof (fig. 5.17).

Dacă raportul

$$\frac{\Phi'_i}{\Phi_i} > 1,2 \dots 1,5, \quad (5.51)$$

se recomandă mărirea numărului de corpuri  $N_i$ , păstrind simetria de amplasare (se introduce un șir în plus sau un corp în plus pe fiecare șir) și mărirea candelor din acest punct, pînă cînd diferența  $(\Phi'_i - \Phi_i)$  se reduce suficient.

Îs reamarcă că, prin acest procedeu, tipul corpului și tipul lămpii se definitivează simultan.

## 5.7.7. CARACTERISTICILE INSTALAȚIEI DE ILUMINAT NORMAL

a) Iluminarea medie în serviciu se calculează cu relația

$$E_{med} = \frac{\Phi'_i N_i N_{ef}}{A}, \quad (5.52)$$

care trebuie să fie mai mare decît iluminarea medie minimă admisibilă

$$E_{med} \geq E_{min}, \quad (5.53)$$

dar mai mică decît treapta următoare  $E_{med+1}$  din scara iluminărilor:

$$E_{med} < E_{med+1} \quad (5.54)$$

Scara nivelelor de iluminare, prevăzută prin STAS 6646-66 și [66] este următoarea: 0,3; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 30; 50; 75; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 500; 750; 1 000; 1 500; 2 000; 3 000; 4 000; 5 000 lx.

Dacă alegerea definitivă a sursei de lumină și a corpului de iluminat se face respectind relația (5.50), relația (5.53) se verifică cu certitudine. În schimb, dacă condiția (5.54) nu este îndeplinită, se trece la mărirea numărului de corpuri  $N_c$  conform indicației de la paragraful 5.7.6.

b) Uniformitatea iluminării poate fi considerată, în general îndeplinită, dacă s-au respectat condițiile de amplasare în plan ale corpurilor. În cazul unor instalații mai exigente, se va face verificarea uniformității iluminării prin metoda punct cu punct (v. par. 5.7.8).

c) Compoziția spectrală a luminii este asigurată datorită respectării corelației dintre nivelul de iluminare și temperatura de culoare, conform diagramei Kruithof.

Pentru verificarea nivelului lumananțelor și a contrastelor de lumananță se recomandă consultarea lucrării [16].

Calculul fotometric al instalațiilor de iluminat de siguranță se poate face în același mod cu al instalației de iluminat normal.

## 5.7.8. METODA PUNCT CU PUNCT PENTRU CALCULUL ILUMINĂRILOR DIRECTE

Componenta directă a iluminării este produsă de acea parte a fluxului luminos a corpurilor de iluminat, care ajunge în mod nemijlocit pe suprafața iluminată, fără să sufere nici o reflexie.

Cunoașterea distribuției componentei directe a iluminării pe planul de lucru are o importanță strîns legată de tipul instalației de iluminat:

- pentru instalațiile de iluminat interior-general, permite verificarea uniformității iluminării;
- pentru instalațiile de iluminat local constituie o metodă de proiectare;
- pentru instalațiile de iluminat exterior reprezintă o bază de proiectare; în acest caz, valorile determinate ale iluminărilor reprezintă chiar iluminările totale, componenta reflectată fiind nulă sau neglijabilă.

La baza metodei de calcul stă relația (5.14).

Iluminarea directă-totală într-un punct se determină ca sumă a iluminărilor parțiale, create de fiecare corp de iluminat, din compunerea instalației.

Metoda punct cu punct de calcul a iluminării directe presupune cunoașterea corpului fotometric sau a curbelor fotometrice ale corpurilor de iluminat.

Particularizarea relației de calcul (5.14) se face în funcție de dimensiunile relative ale corpurilor de iluminat: punctiforme, liniare și panouri luminoase.

### A. Calculul iluminărilor directe date de o sursă punctiformă

Se consideră o sursă de lumină  $S$  și un punct  $P$ , a căror poziție relativă este determinată în cadrul unui sistem de axe rectangulare  $Oxyz$ , așa cum se indică în figura 5.23).

În baza relației (5.10), iluminarea produsă de sursa  $S$  în punctul  $P$ , în plan orizontal este

$$E_{ph} = \frac{d\Phi}{dA_h}, \quad (5.55)$$



iar în plan vertical

$$E_{pv} = \frac{d\Phi}{dA_v} \quad (5.56)$$

$dA_h$  și  $dA_v$  fiind elementele de arie în plan orizontal, respectiv vertical.

Deoarece elementul de arie  $dA$  din relația (5.13), poate fi considerat ca proiecție a elementului  $dA_h$  sau  $dA_v$ , există relația

$$dA = dA_h \cos \theta = dA_v \sin \theta \quad (5.57)$$

și cum intensitatea luminoasă  $I(\theta, \varphi)$  a sursei  $S$  în direcția punctului  $P$  depinde de unghiurile de înălțime  $\theta$  și azimut  $\varphi$ , se obțin relațiile pentru iluminările în plan orizontal

$$E_{rh} = \frac{I(\theta, \varphi) \cos \theta}{r^2} \quad (5.58)$$

și în plan vertical

$$E_{rv} = \frac{I(\theta, \varphi) \sin \theta}{r^2}, \quad (5.59)$$

similare cu relația (5.14).

Pentru a reduce numărul clementelor variabile din expresiile de mai sus se substituie

$$r = \frac{h}{\cos \theta}, \quad (5.60)$$

astfel încît relațiile (5.58) și (5.59) devin

$$E_{rh} = \frac{I(\theta, \varphi) \cos^3 \theta}{h^2}; \quad (5.61)$$

$$E_{rv} = \frac{I(\theta, \varphi) \cos^2 \theta \sin \theta}{h^2}. \quad (5.62)$$

Unghiurile de înălțime și de azimut se pot determina cu ajutorul coordonatelor carteziene (v. fig. 5.23):

$$\theta = \arctg \frac{l}{h}; \quad (5.63)$$

$$\varphi = \arctg \frac{b}{a}, \quad (5.64)$$

cu  $l = \sqrt{a^2 + b^2}$ , astfel încît din corpul fotometric se poate obține  $I(\theta, \varphi)$ .

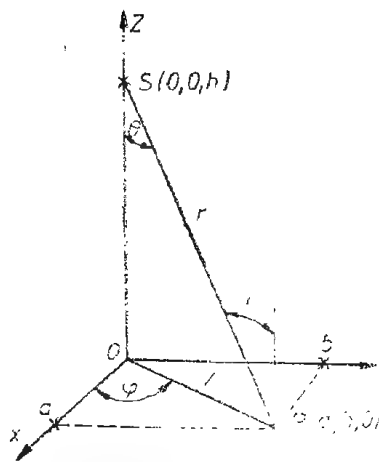


Fig. 5.23. Explicativă pentru calculul iluminărilor directe date de o sursă punctiformă în plan orizontal și vertical.

Funcțiile trigonometrice din expresiile (5.61) și (5.62) ale iluminărilor se determină în funcție de coordonate cu relațiile

$$\begin{aligned}\cos\theta &= \frac{h}{\sqrt{h^2 + l^2}}; \\ \sin\theta &= \frac{l}{\sqrt{h^2 + l^2}},\end{aligned}\quad (5.65)$$

iar prin înlocuirea lor rezultă:

$$E_{ps} = \frac{I(\theta, \varphi) l^2}{(h^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}; \quad (5.66)$$

$$E_{pv} = \frac{I(\theta, \varphi) l}{(h^2 + l^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (5.67)$$

adică iluminările în plan orizontal și vertical sînt direct proporționale cu distanțele corpului de iluminat la planele respective:

$$\frac{E_{pv}}{E_{ps}} = \frac{h}{l}. \quad (5.68)$$

Adoptînd ca variabilă raportul  $l/h$ , relațiile (5.66) și (5.67) se transformă în

$$E_{ps} = \frac{I(\theta, \varphi)}{h^2} = \frac{1}{[1 + (l/h)^2]^{\frac{3}{2}}}; \quad (5.69)$$

$$E_{pv} = \frac{1}{h^2} \frac{l}{h} = \frac{l/h}{[1 + (l/h)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (5.70)$$

Iluminările calculate cu aceste relații sînt iluminările inițiale. Pentru a obține iluminările în serviciu, se împart valorile iluminărilor obținute la factorul de depreciere

$$E'_{pv, v} = \frac{E_{pv, v}}{\Delta}. \quad (5.71)$$

Din examinarea relațiilor (5.66), (5.67) sau (5.69), (5.70) și avînd în vedere expresiile (5.63), (5.64), se poate trage concluzia că pentru o anumită înălțime de suspendare  $h$  deasupra planului util, iluminările inițiale sînt funcție numai de distanța orizontală  $l$  — la corpurile de iluminat simetrice și de  $l$  și  $\varphi$  — la corpurile de iluminat nesimetrice:

$E_{ps, v}(l)$  — la corpurile de iluminat simetrice;  
 $E_{ps, v}(l, \varphi)$  — la corpurile de iluminat nesimetrice.

În cazul corpurilor de iluminat simetrice iluminările pot fi reprezentate într-o diagramă în funcție de distanța  $l = E_{ps, v}(l)$ , folosind la nevoie înălțimea  $h$  ca parametru. Curbele obținute au forma unei jumătăți de curbă clopot. În figura 5.24 sînt date trei astfel de curbe pentru un corp de iluminat simetric, montat la diferite înălțimi  $h$  și avînd curba fotometrică reprezentată alăturat.

Reprezentarea iluminărilor produse de corpuri nesimetrice, în funcție de distanța  $l$  și unghiul de azimut  $\varphi$ ,  $E_{ph,r}(l, \varphi)$  se poate face sub forma unei suprafețe curbe. Fiecărei înălțimi de suspendare  $h$  îi corespunde câte o asemenea suprafață în axele de coordonate  $(l, \varphi, E)$ . În cazul unui corp de iluminat simetric, suprafața  $E_p(l, \varphi)$  are forma unui clopot, aceasta putînd fi obținută prin rotirea uneia din curbele reprezentate în figura 5.24, în jurul axei ordonatelor.

Dacă se intersectează suprafața iluminărilor  $E(l, \varphi)$  cu plane orizontale  $E = \text{const.}$  corespunzînd unor diferite valori ale iluminărilor, se obțin curbele de egală iluminare numite și *curbe izolux*. Curbele izolux, reprezentate în figura 5.25, sînt cercuri concentrice în cazul corpurilor de iluminat simetrice (fig. 5.25, a) și curbe închise oarecare, în cazul corpurilor de iluminat nesimetrice (fig. 5.25, b).

Pentru simplificarea calculelor necesare trasării curbelor izolux se utilizează reprezentări ale iluminărilor relative. Iluminarea relativă  $\varepsilon$  este iluminarea inițială pentru o înălțime de suspendare  $h = 1$  m. Astfel:

$$\varepsilon_v = I(\theta, \varphi) \cos^3 \theta = - \frac{I(\theta, \varphi)}{[1 - (l/h)^2]^{3/2}}, \quad (5.72)$$

$$\varepsilon_s = I(\theta, \varphi) \cos^2 \theta \sin \theta = I(\theta, \varphi) \frac{\sin \theta}{1 - (l/h)^2} \quad (5.73)$$

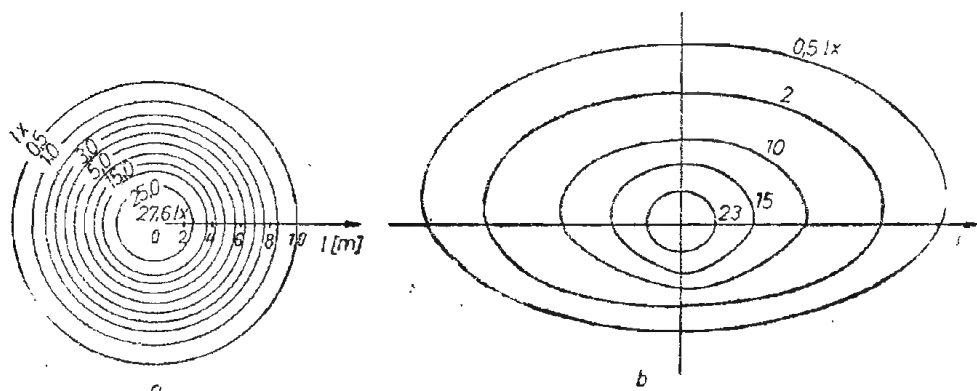


Fig. 5.25. Curbe izolux pentru surse punctiforme:  
a — corp de iluminat simetric; b — corp de iluminat nesimetric.

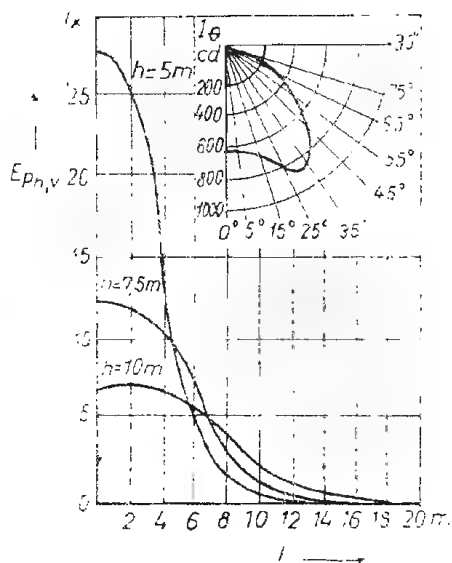


Fig. 5.24. Diagrama iluminărilor în funcție de distanță pentru un corp de iluminat simetric.

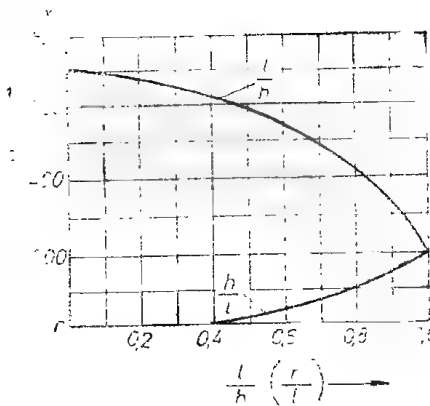


Fig. 5.26. Curbele izolux relative pentru un corp de iluminat nesimetric echipat cu lampa convențională de 1000 lm.

Gradul de generalitate al acestor curbe este mărit prin construirea acestora pentru lămpi convenționale cu  $\Phi_l = 1000$  lm și prin utilizarea coordonatelor relative

$$\begin{aligned} a_* &= \frac{a}{h}; \quad \varphi_* = \frac{\varphi}{h}; \\ l_* &= \frac{l}{h} = \sqrt{a_*^2 + b_*^2}. \end{aligned} \quad (5.74)$$

Legătura dintre coordonatele relative și unghiurile de înălțime, respectiv de azimut este

$$\operatorname{tg} \theta = l_*; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{b_*}{a_*}. \quad (5.75)$$

În cazul general al corpurilor de iluminat nesimetrice se utilizează curbele de egală iluminare relativă. Una din curbele de egală iluminare relativă se obține prin unirea punctelor din plan care au aceeași iluminare relativă inițială, fapt pentru care se numesc și *curbe izolux relative*. Reprezentarea curbelor izolux relative se poate face în:

- coordonate rectangulare  $\varepsilon(a_*, b_*)$ ;
- coordonate polare  $\varepsilon(l_*, \varphi)$ .

În figura 5.26 sînt reprezentate, în coordonate polare, curbele izolux relative pentru un corp de iluminat nesimetric, cu repartiție largă, echipat cu lampa convențională de 1000 lm. Corpul de iluminat are două planuri de simetrie, astfel încît reprezentarea se poate reduce la un singur cadran, corespunzător valorilor unghiului de azimut  $\varphi = 0 \dots 90^\circ$ .

Calculul iluminării într-un anumit punct cu ajutorul acestor curbe se face astfel:

- după poziția punctului  $P$  în care se calculează iluminarea, se determină distanțele  $a$  și  $l$  și se calculează coordonatele relative

$$a_* = \frac{a}{h}, \quad l_* = \frac{l}{h}; \quad (5.76)$$

- se determină coordonatele polare relative

$$l_* = \sqrt{a_*^2 + b_*^2}; \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{b_*}{a_*}; \quad (5.77)$$

- se determină din diagrama curbelor izolux relative, iluminarea relativă  $\varepsilon(l_*, \varphi)$  corespunzătoare coordonatelor  $l_*$  și  $\varphi$ ;

- curbele fiind construite pentru lampa convențională cu  $\Phi_l = 1000$  lm, iluminarea inițială căutată este

$$E_P = \frac{\varepsilon_P}{h^2} \frac{\Phi_l}{1000}, \quad (5.78)$$

$\Phi_l$  fiind fluxul total al lămpilor montate într-un corp de iluminat.

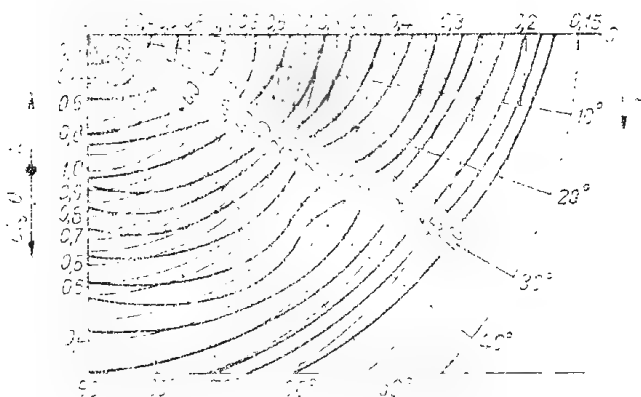


Fig. 5.27. Curba iluminărilor relative pentru un corp de iluminat simetric.

Pentru corpurile de iluminat simetrice este suficientă curba iluminărilor relative  $e_{rel}$ , reprezentată pentru un anumit corp de iluminat în figur. 5.27.

Iluminarea directă totală într-un punct, dată de ansamblul corpurilor dintr-o încăpere, se calculează ca sumă a iluminărilor directe parțiale, date de fiecare corp în parte.

$$E_p = \sum_{i=1}^{No} E_{pi}. \quad (5.79)$$

Iluminarea medie  $E_m$ , pe planul de lucru se determină ca medie aritmetică a iluminărilor din centrele unor dreptunghiuri mici, în care se împarte suprafața acestuia.

Pe baza valorilor calculate se pot determina factorii de uniformitate  $E_m/E_{min}$  și  $E_m/E_{max}$ , care se compară cu valorile minime admisibile din tabelul 5.19.

Deoarece verificarea uniformității iluminării necesită calcule laborioase, chiar dacă se dispune de curbele iluminărilor sau izolux relative, se recomandă lucrul la calculatoare electronice.

În figura 5.28 este prezentată schema logică de calcul a iluminărilor directe date de un sistem de iluminat cu surse punctiforme simetrice, a căror curbă fotometrică se cunoaște. În afara programului principal (fig. 5.28, a), se indică subprogramul de interpolare (fig. 5.28, b) și schița explicativă cu notațiile folosite în schema logică (fig. 5.28, c).

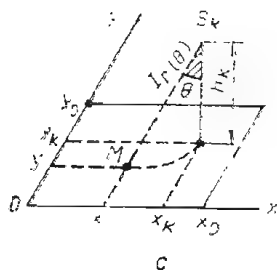
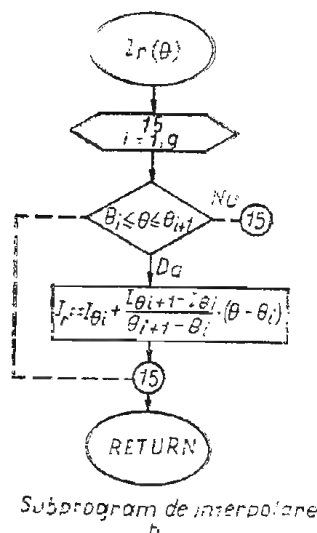
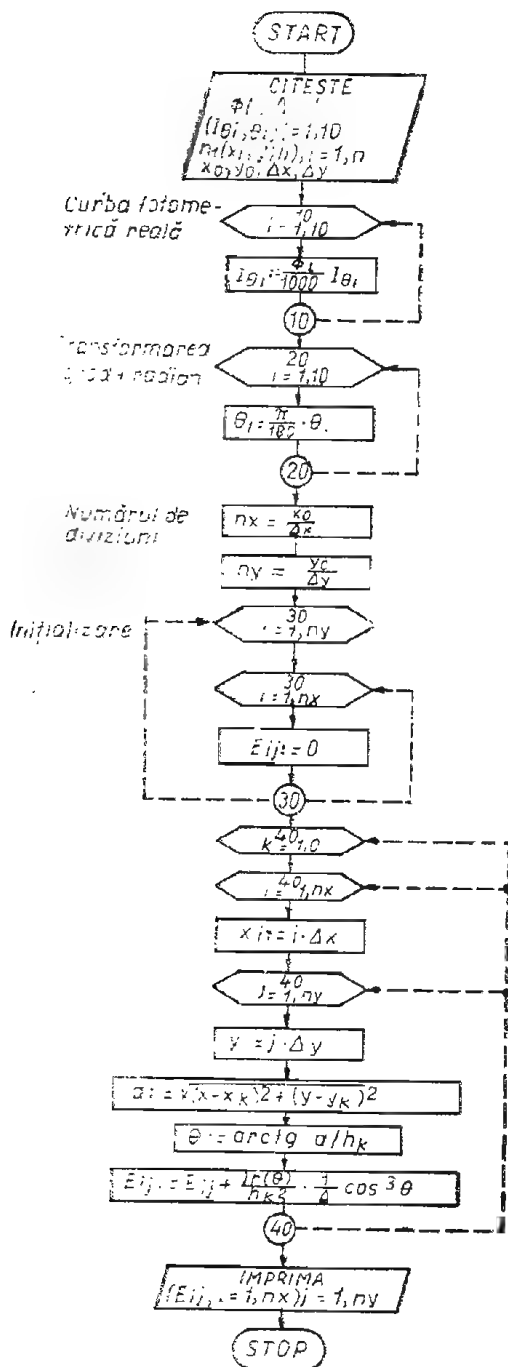
### B. Calculul iluminărilor directe date de surse liniare

Se consideră șirul de corpuri de iluminat cu tuburi fluorescente, din figura 5.29, avînd lungimea corpului  $L_c$  și distanța dintre două corpuri  $d_1$ ; lungimea șirului de corpuri este  $L$ .

Dacă

$$d_{1*} = \frac{d_1}{L} \leq 0,7, \quad (5.80)$$

șirul poate fi considerat continuu și  $L$  reprezintă lungimea sursei liniare de lumină. În caz contrar, șirul este discontinuu și iluminarea totală trebuie



NOTAȚII

calcul  $\Phi_i$  = fluxul lămpi;  
 $\Delta$  = factor de deprecie;  
 $(\theta_i, \theta_i^0)$  = curbă fotometrică universală;  
 $n$  = numărul de lămpi;  
 $(x_i, y_i, h_i)$  = coordonatele spațiale ale lămpilor;  
 $(x_0, y_0)$  = dimensiunile suprafeței utile;  
 $(\Delta x, \Delta y)$  = pasul nodurilor.

Fig. 5.28. Calculul iluminărilor directe date de un sistem de iluminat cu corpuri punctiforme simetrice, prin metoda punct cu punct:

a — schema logică a programului principal; b — schema logică a subprogramului de interpolare; c — schița explicativă.

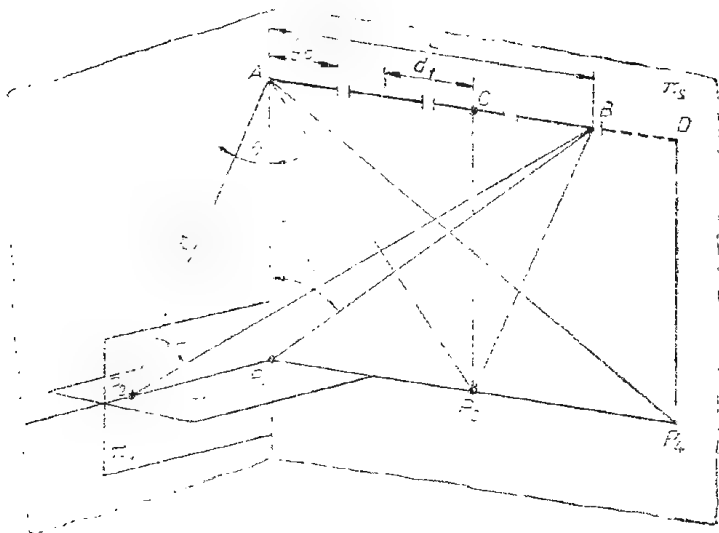


Fig. 5.29. Explicativă pentru calculul iluminărilor date de o sursă liniară.

calculată ca sumă a iluminărilor parțiale, produse de fiecare corp de iluminat în parte.

Mărimea de calcul specifică este intensitatea luminoasă pe direcția normală, a unității de lungime a sursei liniare [3]

$$I_u = \frac{\Phi_0}{\pi L}, \text{ cd/m}, \quad (5.81)$$

în care  $\Phi_0$  reprezintă fluxul luminos total emis de corpurile de iluminat, care formează sursa liniară de lumină cu lungimea  $L$ .

Iluminările orizontală și verticală au următoarele expresii:

— în punctul  $P_1$  (proiecția capătului  $A$  al sursei liniare pe planul orizontal  $\pi_v$ , fig. 5.29),

$$E_{P_1h} = \frac{I_u}{2k} (\sin i_1 \cos i_1 + i_1); \quad (5.82)$$

$$E_{P_1v} = \frac{I_u}{2k} \sin^2 i_1; \quad (5.83)$$

— în punctul  $P_2$ , situat pe dreapta  $(\pi_s \cap \pi_v)$ , în afara planului  $\pi_v$ , la distanța  $l$  de acesta

$$E_{P_2h} - E_{P_2v} \cos \theta = \frac{I_u}{2H} (\sin i_2 \cos i_2 + i_2) \cos \theta; \quad (5.84)$$

$$E_{P_2v} = \frac{I_u}{2H} \sin^2 i_2, \quad (5.85)$$

în care  $E_{P_2v}$  este iluminarea în punctul  $P_2$ , într-un plan perpendicular pe direcția  $AP_2$ , calculată cu relația pentru  $E_{P_1h}$ , în care  $k$  se înlocuiește cu  $H = \sqrt{h^2 + l^2}$ ;

— în punctul  $P_3$ , aflat în planul vertical  $\pi_1$ , care trece prin sursa liniară, sub această sursă

$$E_{P_3} = E_{AC} + E_{CB}, \quad (5.86)$$

în care  $E_{AC}$ ,  $E_{CB}$  sînt calculate cu relațiile de la  $E_1$ ;

— în punctul  $P_4$  situat în planul vertical  $\pi_1$ , în afara sursei liniare

$$E_{P_4} = E_{AD} - E_{ED}, \quad (5.87)$$

$BD$  fiind o porțiune fictivă a sursei liniare.

Relațiile pot fi exprimate numai în funcție de distanțe, dacă se explicitază funcțiile trigonometrice din expresia lor:

$$\sin i_1 = \frac{h}{\sqrt{h^2 + L^2}}; \quad \cos i_1 = \frac{L}{\sqrt{h^2 + L^2}}; \quad (5.88)$$

$$\sin i_2 = \frac{L}{\sqrt{H^2 - L^2}}; \quad \cos i_2 = \frac{H}{\sqrt{H^2 - L^2}};$$

$$\cos \theta = \frac{h}{H}.$$

în care  $H = \sqrt{h^2 + l^2}$ .

### 5.7.9. ÎNTOCMIREA SCHEMEI DE DISTRIBUȚIE

Organizarea pe circuite monofazate sau trifazate a alimentării cu energie electrică a corpurilor de iluminat se face avînd în vedere, pe de o parte, funcționalitatea instalației de iluminat general, iar pe de altă parte restricțiile introduse prin normativ [32].

Astfel, se va prevedea acționarea iluminatului general, respectiv aprinderea și stingerea acestuia, pe porțiuni ale încăperii, în scopul creerii posibilității de iluminare numai a anumitor zone, în care la un moment dat se lucrează efectiv.

La folosirea iluminatului artificial combinat cu iluminatului natural, secționarea comenzilor iluminatului general se va prevedea astfel ca aprinderea-stingerea să se facă paralel cu peretele ferestrelor [28].

După realizarea partiționării iluminatului general, conform indicațiilor de mai sus, se grupează corpurile de iluminat pe circuite, respectînd următoarele restricții:

— la circuitele monofazate nu se va depăși o putere instalată maximă de 3 kW;

— la circuitele trifazate nu se va depăși o putere instalată maximă de 8 kW;

— numărul maxim de corpuri de iluminat racordate la o iază este de 30, în cazul instalațiilor de iluminat industriale;

— în clădirile de locuit, un circuit de lumină nu va depăși puterea instalată de 1 kW și va fi încărcat cu maximum 12 corpuri de iluminat, excepție făcînd circuitele de lumină de la spațiile comune (ex. holuri, scări etc.) la care se admit 15 corpuri de iluminat pe circuit;

— prevederea protecției se va face în baza condițiilor de la subcapitolul 4.8.



Legarea corpurilor de iluminat la circuitul de alimentare se face prin intermediul unor elemente de legătură (la corpuri de iluminat fixe). Un corp de iluminat se racordează la o singură fază, chiar dacă este prevăzut cu mai multe lămpi. Se recomandă alimentarea corpurilor de iluminat cu lămpi fluorescente, amplasate în vecinătate, de la faze diferite, pentru diminuarea efectului stroboscopic.

Corpurile de iluminat cu lămpi cu descărcări se vor monta cu condensatoare pentru îmbunătățirea factorului de putere.

Racordarea circuitelor de lumină la rețeaua de joasă tensiune se face în baza celor menționate la subcapitolul 4.2 și a prevederilor din lucrarea [32].

Alegera aparatelor de protecție și comutație, precum și a secțiunii conductoarelor se poate face conform relațiilor și indicațiilor de la subcapitolul 4.10, respectiv 4.11. Una dintre verificările obligatorii la instalațiile electrice de iluminat este aceea a pierderilor de tensiune (v. subcap. 4.12).

Bateriile de alimentare a iluminatului de siguranță pentru continuarea lucrului vor fi astfel dimensionate [32] încât să asigure funcționarea continuă a tuturor lămpilor după cum urmează:

- cel puțin 3 ore, pentru locurile în care sînt montate armături (vane, robinete) și dispozitive de comandă și control ale unor instalații și utilaje care trebuie acționate în caz de incendiu (ca și în încăperile blocului operator al clinicii și spitalelor);

- pentru timpul necesar punerii în funcțiune a unei alte surse de alimentare sau repunerii în funcțiune a alimentării normale, dacă activitatea nu poate fi întreruptă;

- în tot timpul necesar efectuării manevrelor în vederea opririi lucrului în caz de avarie, evacuarea personalului și luarea măsurilor de prevenire și combatere a incendiului, pentru celelalte cazuri de prevedere a iluminatului de siguranță pentru continuarea lucrului (v. tab. 5.15).

## 5.8. INSTALAȚII DE ILUMINAT EXTERIOR

### 5.8.1. GENERALITĂȚI

În anumite cazuri, activitățile desfășurate în exterior în timpul zilei se continuă și în timpul nopții, astfel încît apare necesitatea iluminării spațiilor respective. Dintre activitățile industriale care se încadrează în această situație se pot menționa:

- lucrările industriale exterioare;
- lucrările la instalații electrice exterioare ca stații și posturi de transformare;
- lucrul pe șantiere;
- utilajele industriale în aer liber;
- circulația din incintele întreprinderilor industriale.

Instalațiile de iluminat exterior trebuie să asigure nivelul minim de vizibilitate, evitîndu-se contrastele de luminanță. Nivelul de iluminare relativ redus pentru activitățile din exterior (v. tab. 5.17 și 5.18), face ca

ochiul să fie adaptat la străluciri reduse, astfiei încît acesta este foarte sensibil la fenomenul de orbire, dacă în câmpul vizual apar obiecte cu luminanțe prea mari. De asemenea, contrastele prea mari de luminanțe accelerează oboseala ochiului.

Condițiile de calitate ale iluminatului exterior sînt tratate în subcapitolul 5.6. Coeficientul de uniformitate  $E_m/E_{med}$  este de 1/3 pentru lucrările industriale exterioare (v. tab. 5.17) și de 1/4 la iluminatul teritoriilor și căilor de circulație.

## 5.8.2. PROIECTAREA INSTALAȚIILOR DE ILUMINAT EXTERIOR

Calculul instalațiilor de iluminat exterior cuprinde aceleași etape ca și în cazul instalațiilor de iluminat interior, în cele ce urmează fiind prezentate elementele caracteristice.

Sistemul de iluminat este local direct în majoritatea cazurilor, din cauza lipsei suprafețelor înconjurătoare care să contribuie, prin reflexie, la iluminarea planului util.

Sursele de lumină recomandate pentru iluminatul exterior sînt lămpile cu mare eficacitate luminoasă, ca cele fluorescente sau cu descărcări, iar în cazul iluminatului cu proiectoare — lămpile cu incandescență. În cazul unor nivele de iluminare reduse, se recurge de asemenea la folosirea lămpilor cu incandescență (v. tab. 5.22). Pentru spații cu mult fum, cu ceață densă și frecvență, se recomandă utilizarea lămpilor cu vapori de sodiu, iar pentru spații mari deschise se vor folosi lămpi de mare putere — lămpi cu xenon sau lămpi cu halogenuri metalice, care realizează economii prin concentrarea fluxului într-un număr mic de surse.

Corpurile de iluminat se aleg dintre cele destinate iluminatului exterior (v. tab. 5.11 și 5.12), ținînd cont de felul sursei de lumină și de indicațiile din tabelul 5.23.

Tabelul 5.23

Indicații de alegere a corpurilor de iluminat pentru iluminatul industrial exterior

Spațiul de iluminat	Repartiția fluxului l. corpul de iluminat	
	Mijlocie	Larga
Căi de circulație în incinte. Pasaaje, treceri, podețe de scări. Pasaaje de nivel la căi ferate.	Recomandat	Permis
Intrări pentru vehicule (porți). Iluminatul de pază pe teritoriu. Iluminatul periferic de pază, pe o fișie de 10 m lățime.	Permis	Recomandat

În cazul unor spații de lucru, în care se degajă gaze sau vapori corosivi, trebuie folosite corpuri de iluminat corespunzătoare.

Amplasarea corpurilor de iluminat exterior se face pe pereții clădirilor învecinate sau cu ajutorul unor stâlpi de susținere.

Iluminatul incintelor industriale, a depozitelor ș.a. se execută prin amplasarea corpurilor de iluminat sau a proiectoarelor pe clădirile învecinate sau pe stâlpi distribuiți pe suprafața de iluminat, în cazul în care prezența lor nu împiedică activitatea respectivă sau circulația vehiculelor. Amplasarea concentrată a proiectoarelor, în câteva puncte, prezintă avantaje în exploatare, permițând o întreținere mai ușoară.

Pentru iluminatul stațiilor și posturilor de transformare exterioare, se pot folosi proiectoare instalate în colțurile terenului.

Căile de acces și drumurile uzinale sînt iluminate prin amplasarea corpurilor de iluminat de-a lungul acestora, axial, unilateral sau bilateral (alternat sau față în față), putîndu-se folosi stâlpi sau pereți ai clădirilor învecinate.

Iluminatul triajelor și al instalațiilor portuare se execută de cele mai multe ori cu ajutorul unor baterii de proiectoare montate pe piloni și orientate în toate direcțiile. Un iluminat suplimentar se realizează cu ajutorul unor corpuri de iluminat exterior distribuite pe întreaga suprafață, mai ales în zonele unde local sînt necesare niveluri superioare de iluminat.

Cotele de amplasare a corpurilor de iluminat trebuie corelate cu caracteristicile fotometrice ale surselor, corelații care conduc la soluții optime din punct de vedere tehnic și economic. [28].

Înălțimile minime de montare a corpurilor de iluminat în funcție de fluxul luminos al surselor și de felul repartiției fluxului luminos, sînt indicate în tabelul 5.24; aceste valori asigură obținerea uniformităților nor-

Tabelul 5.24

Înălțimi minime de montare a corpurilor de iluminat exterior

Fluxul luminos al sursei lm <sup>2</sup>	Repartiția fluxului luminos a corpului de iluminat		
	Concentrată	Mijlocie	Largă
srb 5 000	6	6	7,5
5 000 ... 10 000	6	7,5	8
10 000 ... 15 000	7,5	9	10,5
peste 15 000	9	10,5	12

mate și limitarea fenomenelor de orbire. De asemenea, în cazul iluminării unor spații cu utilaje, sau corpuri de mari dimensiuni, înălțimea de montare se stabilește astfel încît să se micșoreze cît mai mult posibil umbrele produse de acestea.

Pentru căile de acces și drumurile uzinale, înălțimea de montare a corpurilor de iluminat se recomandă a se adopta cel puțin egală cu lățimea căii, în cazul iluminatului unilateral și cu jumătatea lățimii căii în cazul celui axial sau bilateral; se va avea în vedere și gabaritul maxim al mijloacelor de transport.

Distanța  $d$  dintre punctele de suspendare ale corpurilor de iluminat, măsurată în plan orizontal se alege în funcție de înălțimea de suspendare  $h$  cu relația

$$d = (3 \dots 5)h, \quad (5.89)$$



## Capitolul 6

# INSTALAȚII PENTRU COMPENSAREA PUTERII REACTIVE

### 6.1. GENERALITĂȚI

Consumul de putere reactivă în cadrul sistemului energetic se datorește receptoarelor electrice, pierderilor în linii și transformatoare, fiind practic egal cu consumul de putere activă, la sarcina maximă. Centralele electrice sînt dimensionate pentru o producție de putere reactivă egală cu 50 ... 60% din cea activă, ceea ce conduce la necesitatea introducerii unor instalații pentru compensarea diferenței de putere reactivă. În plus apar și o serie de efecte negative care împieteză asupra condițiilor de calitate în alimentarea consumatorilor.

Consumul de putere reactivă este caracterizat de *factorul de putere*, care în regim sinusoidal este dat de relația

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}, \quad (6.1)$$

în care,  $P$  este puterea activă,  $S$  — puterea aparentă și  $Q$  — puterea reactivă.

În instalațiile existente se utilizează noțiunea de *factor de putere mediu*, măsurat cu ajutorul contoarelor de energie activă  $E_{ei}$  și reactivă  $E_{ri}$ , într-un anumit interval de timp (oră, zi, lună, an),

$$\cos \varphi_m = \frac{\Sigma}{\sqrt{E_{ei}^2 + E_{ri}^2}}. \quad (6.2)$$

În proiectare se pornește de la *factorul de putere natural*, stabilit cu ajutorul puterilor cerute (par. 1.4), în absența surselor specializate de compensare a puterii reactive.

### 6.2. CAUZELE ȘI EFECTELE CONSUMULUI DE PUTERE REACTIVĂ

Receptoarele care consumă putere reactivă într-o întreprindere industrială sînt: motoarele asincrone, transformatoarele, cuptoarele cu inducție, cuptoarele cu arc, lămpile cu descărcări în gaze și vapori metalici, echipamentele electronice de putere, liniile electrice aeriene funcționînd în sarcină, mașinile sincrone subexcitate.

Consumul de putere reactivă al motoarelor asincrone se datorește factorului de putere nominal redus și funcționării la sarcini diferite de cele

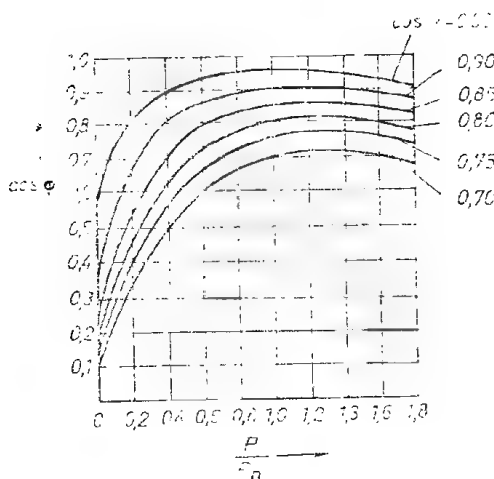


Fig. 6.1. Variația factorului de putere  $\cos \varphi$  al motoarelor asincrone în funcție de coeficientul de încărcare  $k_1 = P/P_n$  și factorul de putere nominal  $\cos \varphi_n$ .

nominale, câteodată chiar în gol — figura 6.1.

Consumul de putere reactivă are efecte negative asupra întregului proces de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice prin:

— creșterea pierderilor de putere și energie activă, la producerea și transportul energiei electrice;

— creșterea pierderilor de tensiune la transport;

— reducerea posibilităților de încărcare cu putere activă a instalațiilor;

— necesitatea supradimensionării instalațiilor electrice însoțită de mărirea cheltuielilor de investiții;

— creșterea curentului permanent de scurtcircuit;

— valoarea ridicată a cheltuielilor anuale, prețul energiei reactive în cazul funcționării la un factor de putere mai redus decât cel neutral, fiind indicat în tabelul 6.1.

Valoarea minimă a factorului de putere, pe care trebuie să o realizeze consumatorul pentru a fi scutit de plata energiei reactive se numește factor de putere neutral.

Marii consumatori industriali și similari sînt obligați să asigure de regulă, o compensare pînă la  $\cos \varphi$  neutral de minimum 0,92.

Excepție fac:

— consumatorii alimentați direct de la o centrală avînd putere reactivă disponibilă, pentru care se poate fixa un  $\cos \varphi$  neutral sub 0,92 în limita puterii disponibile;

— consumatorii cu putere absorbită peste 20 MW situați în zone deficiente de putere reactivă, pentru care se poate adopta un  $\cos \varphi$  neutral peste 0,92, dacă în centrul respectiv nu se dispune de o bară cu tensiune  $\leq 110$  kV la care să se racordeze o sursă specializată de compensare.

Compensarea poate depăși valoarea de 0,92 dacă prin aceasta se realizează economii la investiții în rețelele proprii și dacă regimul local al tensiunilor permite acest lucru.

Valoarea factorului de putere optim se va stabili în paragraful 6.8.

Față de cele menționate, rezultă importanța consumului de putere reactivă pentru economia națională, reducerea sau chiar eliminarea efectelor negative favorizînd obținerea de economii atât la cheltuielile de investiții cît și la cele de producție.

Tabela 6.1

Prețuri de producție și livrare a energiei electrice — Decretul 392/1980

Consumatorii de energie electrică pe nivele de tensiuni	Prețuri pentru energia electrică activă										Prețuri la energia electrică reactivă** pentru consumatorii cu factor de putere mediu lunar mai mic de 0,92	
	A. Pentru mari consumatori care au instalat echipamente de măsurare corespunzătoare, cu excepția tracțiunii electrice					B. Pentru mari consumatori industriali și similari, la care nu se pot aplica prețurile „A” din lipsa echipamentelor de măsurare						C. Pentru restul consumatorilor inclusiv tracțiunea electrică și la ordine consumatorilor în durată nefuncționării echipamentului de măsurare
	Pentru putere*		Pentru energie			lei/kWh		lei/kWh				
	Ore de vîrf	Restul orelor	Ore de vîrf	Restul orelor	Restul orelor	Ore de vîrf	Restul orelor	Restul orelor				
Joasă tensiune (0,1 - 1 kV inclusiv)	1 272	516	0,65	0,19		1,10	0,39	0,50	0,050			
	792	321	0,50	0,18		0,75	0,28	0,31	0,035			
Înaltă tensiune (110 kV și mai mari)	372	156	0,50	0,18		0,60	0,22	0,27	0,025			

\* În cazul echipamentelor cu un singur indicator de maxim, se aplică numai prețul pentru putere în ore de vîrf.

\*\* În prețul energiei reactive se cuprinde și cota de consum tehnologic de energie activă în rețele, aferentă transportului energiei reactive.

### 6.3. MIJLOACE PENTRU COMPENSAREA CONSUMULUI DE PUTERE REACTIVĂ

La proiectarea instalațiilor tehnologice se va urmări compensarea consumului de putere reactivă caracterizată de ridicarea factorului de putere, prin:

- adoptarea în măsura posibilităților a unor procese tehnologice, agregate și scheme tehnologice și de funcționare, caracterizate prin factor de putere ridicat;

- alegerea judicioasă a tipului și puterii motoarelor electrice, a transformatoarelor, evitându-se supradimensionările; introducerea motorului sincron în locul celui asincron se va justifica din punct de vedere economic (par. 6.8.4) considerându-se motorul asincron compensat individual cu condensatoare derivație.

Principalele mijloace naturale utilizate în special în instalațiile existente, sînt următoarele:

- funcționarea transformatoarelor de forță în paralel, după graficul de pierderi reactive minime (par. 3.2.6), ori de cîte ori condițiile de exploatare permit acest lucru;

- exploatarea motoarelor sincrone la limita maximă a capacității de producere a puterii reactive;

- limitarea mersului în gol al motoarelor asincrone, al transformatoarelor de sudare și speciale, dacă procesul tehnologic permite acest lucru;

- utilizarea comutatoarelor stea-triunghi la motoare asincrone de joasă tensiune, încărcate sistematic sub 40% din sarcina nominală, pentru funcționarea de durată în conexiunea stea;

- înlocuirea motoarelor asincrone și a transformatoarelor supradimensionate, pe baza analizei tehnico-economice prin metoda cheltuielilor totale actualizate [38].

Principalele surse specializate de putere reactivă sînt condensatoarele derivație și compensatoarele sincrone.

### 6.4. ALEGEREA SURSELOR SPECIALIZATE DE PUTERE REACTIVĂ

În scopul ridicării factorului de putere natural  $\cos \varphi_1$  pînă la valoarea cerută, după ce au fost epuizate toate mijloacele naturale, se va lua în considerare instalarea de surse specializate. Alegerea acestor surse impune parcurgerea următoarelor trei etape:

1) *Determinarea mărimumi puterii reactive  $Q_c$  a sursei*

Puterea reactivă necesară pentru realizarea factorului de putere necesar  $\cos \varphi_2$  rezultă pe baza relației (fig. 6.2):

$$Q_c = P_1(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) - \Delta P \operatorname{tg} \varphi_2 \quad (6.3)$$

în care:  $P_1$  este puterea activă a consumatorului necompensat (puterea cerută sau maximă absorbită în zilele de iarnă);

$\Delta P$  — pierderea de putere activă în sursa de compensare;



$P_2, Q_2$  — puterea activă, respectiv reactivă a consumatorului compensat la  $\cos \varphi_2$ .

O altă relație care permite stabilirea puterii reactive instalate este:

$$Q_2 = \frac{E_{a1}(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)}{t_{QM}}, \quad (6.4)$$

în care:  $E_{a1}$  este energia activă a consumatorului necompensat, iar

$t_{QM}$  — durata de utilizare a puterii reactive maxime (par. 6.8.2).

## 2) Alegerea tipului sursei de compensare

Condensatoarele derivație se utilizează, de regulă, ca sursă specializată de compensare a puterii reactive, fiind mai ieftine, avînd pierderi mai mici și condiții de exploatare mai ușoare decît condensatoarele sincrone.

Compensatoarele sincrone vor fi luate în considerație în următoarele situații:

- pentru compensarea puterilor ce depășesc 50 Mvar;
- dacă consumatorul are receptoare deformante și necesită compensarea unor puteri ce depășesc 10 ... 20 Mvar;
- pentru compensarea variațiilor rapide ale sarcinii reactive (la cupatoarele cu arc).

În toate aceste cazuri se va efectua o analiză tehnico-economică comparativă a soluțiilor cu condensatoare derivație și cu compensatoare sincrone.

## 3) Stabilirea amplasamentului sursei de compensare

În cadrul instalațiilor electrice ale consumatorului, condensatoarele derivație pot fi amplasate (fig. 6.3) pentru compensare:

— individuală, direct la bornele receptorilor de JT sau MT avînd un consum mare de energie reactivă și funcționare continuă; este recomandată și pentru compensarea fiecărui corp de iluminat cu lămpi fluorescente;

— centralizată, pe JT, la tablourile generale din posturile de transformare sau la tablourile care deservesc grupuri importante de receptoare inductive și pe MT în posturile sau stațiile de transformare.

Compensatoarele sincrone se amplasează aproape întotdeauna în stațiile sistemului energetic, la barele de MT.

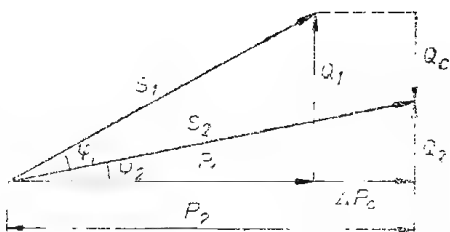


Fig. 6.2. Diagrama puterilor pentru determinarea puterilor reactive ale surselor specializate.

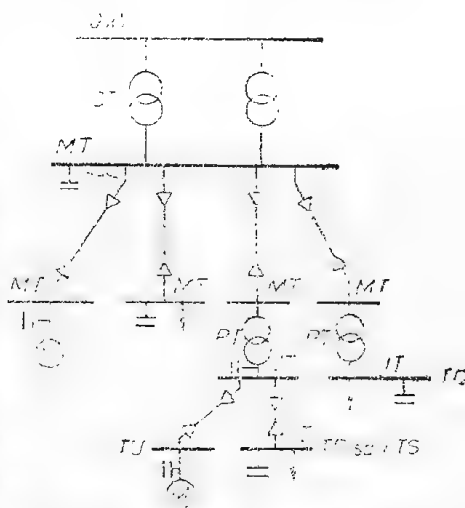


Fig. 6.3. Posibilități de amplasare a condensatoarelor derivație în instalația electrică a consumatorului.

ST — stație de transformare; PT — post de transformare; MT — medie tensiune; JT — joasă tensiune; TG — tablou general; TP — tablou principal; TS — tablou secundar; TU — tablou utilaj.

Criteriile care orientează alegerea amplasamentelor sînt următoarele:

- existența posibilităților de încadrare a sursei în instalația respectivă (celulă de racordare a barelor generale, spațiu pentru surse);
- realizarea de reduceri cît mai mari a pierderilor de putere activă în rețele;

- menținerea în limite economice a investițiilor pentru surse;
- aminorarea pe cît posibil a investițiilor costisitoare pentru rețea (linii, stații și posturi de transformare);
- eliminarea necesității unor instalații costisitoare de reglaj a tensiunii.

#### 4) Stabilirea soluției optime de compensare

După alegerea tipului sursei de compensare, pentru fiecare soluție de amplasare posibilă, pe baza analizei economice prin metoda cheltuielilor actualizate (subcap. 6.8), se va compara varianta fără compensare (corespunzătoare  $\cos\varphi$  natural) cu varianta de compensare la  $\cos\varphi$  neutral.

În acest mod va rezulta soluția optimă de compensare, din punct de vedere tehnico-economic, atît ca tip, cît și ca putere și amplasarea sursei de putere reactivă.

## 6.5. CONDENSATOARE DERIVAȚIE

Condensatoarele derivație sînt surse de putere reactivă montate în paralel cu rețeaua sau receptoarele.

### 6.5.1. CARACTERISTICILE CONDENSATOARELOR

Puterea reactivă a unui condensator este dată de relația

$$Q_c = m\omega C_f U_f^2, \quad (6.5)$$

în care  $m$  este numărul de faze,  $\omega = 2\pi f$  — pulsația tensiunii de alimentare  $U_f$  (pe fază),  $C_f$  — capacitatea condensatorului pe fază.

Din punct de vedere al conexiunilor, condensatoarele sînt monofazate și trifazate, legate în stea sau în triunghi (fig. 6.4).

Puterea condensatorului trifazat în conexiune stea este

$$Q_c = 3\omega C_f U_f^2, \quad (6.6)$$

iar pentru cea în triunghi

$$Q_c = 3\omega C_{f\Delta} U_f^2. \quad (6.7)$$

Curentul condensatorului monofazat este

$$I_{fc} = \frac{Q_c}{U_f}, \quad (6.8)$$

iar cel al condensatorului trifazat, independent de conexiune, este

$$I_{1c} = \frac{Q_c}{\sqrt{3}U_f}. \quad (6.9)$$

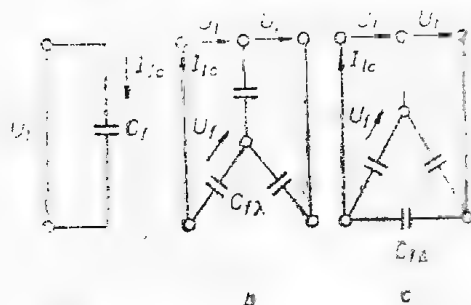


Fig. 6.4. Conexiunile condensatoarelor:

a — monofazat; b — trifazat în stea; c — trifazat în triunghi.

Tensiunea de alimentare poate fi joasă sau medie.

Din punct de vedere al frecvenței, condensatoarele pot fi de frecvență industrială (50 Hz) și de medie frecvență (100–10000 Hz). Acestea din urmă, utilizate în special pentru compensarea cuptoarelor de inducție, au pierderile active  $\Delta P_e$  mult sporite, conform relației

$$\Delta P_e = 2\pi fCU \operatorname{tg} \delta, \quad (6.10)$$

în care  $\operatorname{tg} \delta$  este factorul de pierderi al dielectricului.

După mediul de instalare sînt condensatoare de interior și de exterior.

În tabelul 6.2 sînt date caracteristicile condensatoarelor fabricate în țara noastră. Cele două tipuri principale se deosebesc prin mediul de împregnare, care poate fi ulei mineral CU sau ulei sintetic CS. Acestea din urmă sînt de preferat, uleiul sintetic fiind neinflamabil și avînd pierderi mai reduse.

Condensatoarele unitare descrie pînă în prezent se montează în paralel și în serie, în funcție de tensiunea nominală a rețelei, formînd bateriile de condensatoare cu puteri de la zeci de kvar la zeci de Mvar și tensiuni între 0,38 și 6,3 kV. Conexiunea în triunghi se întîlnește în special la JT, iar cea în stea sau stea dublă cu neutrul izolat față de pămînt la MT.

După modul de conectare la rețea bateriile de condensatoare sînt:

- fixe, nedispunînd de aparataj de conectare;
- comutabile, dispunînd de astfel de aparataj.

Bateriile comutabile pot fi comandate *manual* sau *automat*.

Bateriile de condensatoare se montează pe stativ sau în dulapuri.

În R.S.România se produce o serie tipizată de dulapuri cu condensatoare de joasă tensiune BACD-0,38 kV [3] cu:

- 1, 3, 4 și 5 trepte;
- puteri totale între 60 și 900 kvar;
- echipament de conectare, protecție, automatizare tip BACM, MAJ sau (și) DCA.

Tabelul 6.2

Caracteristicile nominale ale condensatoarelor ( $f = 50$  Hz) fabricate în R. S. România

Tipul condensatorului	$U_{n0}$ [kvar]	$U_{n1}$ [kV]	$C_{n1}$ [μF]	Nr. faze
CU-0,38-15-3	15	0,380	116	3
CU-0,50-15-1	15	0,500	193	1
CU-0,50-15-3	15	0,500	64	3
CS-0,38-15-1	15	0,380	330	1
CS-0,38-15-3	15	0,380	110	3
CS-0,38-20-3	20	0,380	146	3
CS-0,50-15-1	15	0,500	193	1
CS-0,50-15-3	15	0,500	64	3
CS-3,6/6,3-100-E	100	3,64	24	1
CS-6,06-100-E	100	6,06	8,65	1
CS-3,3-50-E	50	3,3	23,4	1

Obs. E — exterior.

Dulapurile de condensatoare de MT, BACD — 16 kV [19] au :

- 1, 3 trepte;
- puteri totale între 150 și 6750 kvar.

## 6.5.2. CALCULUL BATERIEI DE CONDENSATOARE

### 1) Puterea reactivă

Determinarea puterii reactive a bateriei de condensatoare se face pe baza relației :

$$Q_c = P_1(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2), \quad (6.11)$$

rezultată din relația (6.3) în care  $\Delta P$  s-a neglijat : relația este reprezentată în tabelul 6.3. Se recomandă și utilizarea relației (6.4).

La compensarea individuală a transformatoarelor, puterea bateriei va acoperi numai necesarul la mersul în gol al acestora

$$Q_{c0} \leq (0,1 \dots 0,2) S_{nT}. \quad (6.12)$$

La compensarea individuală a motoarelor asincrone

$$Q_{c0} \leq 0,9 Q_{m0}, \quad (6.13)$$

Tabelul 6.3

Puterea reactivă a surselor de compensare, pentru 1 kW putere activă a consumatorului

$\cos \varphi_1 \backslash \cos \varphi_2$	0,8	0,85	0,9	0,92	0,95	1
0,5	0,983	1,116	1,248	1,308	1,408	1,732
0,55	0,761	0,894	1,026	1,086	1,186	1,51
0,6	0,578	0,711	0,843	0,903	1,003	1,327
0,65	0,414	0,547	0,679	0,739	0,839	1,163
0,7	0,268	0,401	0,533	0,593	0,693	1,017
0,75	0,13	0,263	0,395	0,455	0,555	0,879
0,8	—	0,133	0,265	0,325	0,425	0,749
0,85	—	—	0,132	0,192	0,292	0,624
0,9	—	—	—	0,06	0,16	0,484
0,92	—	—	—	—	0,1	0,424
0,95	—	—	—	—	—	0,324

Observații.  $\cos \varphi_1$  este factorul de putere natural;  $\cos \varphi_2$  — factorul de putere neutral.



de tensiune  $\Delta U$  pe bara de MT, produs de comutarea bateriei de condensatoare (par. 6.5.3). Rezultă puterea unei trepte

$$Q_{et} = \frac{\Delta U [\%] S_{ec}}{100} \leq \frac{3}{10^4} S_{ec} \quad (6.17)$$

$S_{ec}$  fiind puterea trifazată de scurtcircuit în punctul de racordare al bateriei.

## 2) Amplasarea bateriei de condensatoare

Bateriile de condensatoare se pot amplasa conform figurii 6.3 ținând cont de criteriile enunțate la punctul c al subcapitolului 6.4.

Pentru compensarea individuală a receptoarelor se recomandă baterii fixe, având puteri pînă la 100 kvar la JT și sute de kvar la MT.

Bateriile comutabile se utilizează la compensarea centralizată a consumatorilor.

Bateriile comutabile manual ajung la puteri de circa 250 kvar în JT și circa 1 000 kvar în MT. Peste aceste valori și mai ales în situațiile în care sarcinile reactive sînt variabile, se utilizează baterii comutabile automate, fracționate în trepte de putere.

## 3) Condiții pentru compensarea cu condensatoare

Suprasarcinile maxim admise ale condensatoarelor, în regim de durată în raport cu valorile nominale, sînt conform STAS 7083-71 următoarele:

$$I_{Mc} = 1,3 I_n; \quad (6.18)$$

$$U_{Mc} = 1,1 U_n; \quad (6.19)$$

$$Q_{Mc} = 1,43 Q_n. \quad (6.20)$$

Suprasarcinile pot apare datorită:

— variațiilor mari de tensiune (laminoare, cuptoare cu arc); se va verifica condiția (6.19) pe baza înregistrărilor curbei de tensiune în punctul de racordare al bateriei;

— armonicilor superioare de curent și tensiune generate de receptoare deformante; se vor verifica condițiile (6.18) ... (6.20) conform indicațiilor cuprinse în capitolul 7.

## 6.5.3. CONECTAREA ȘI DECONECTAREA BATERIILOR DE CONDENSATOARE [18]†

La comutația bateriilor apar supracurenți și supratensiuni.

Din punct de vedere al acestor fenomene bateriile de condensatoare pot fi:

— *simple*, în cazul în care în apropierea lor nu există alte baterii care ar putea mări curentul de conectare;

— *în trepte*, al căror curent de conectare este mărit în mod apreciabil de condensatoarele conectate la rețea.

### 1) Conectarea bateriei simple

Din experiența bateriilor de condensatoare în funcțiune rezultă următoarele valori pentru raportul dintre amplitudinea  $I_{Mc}$  a curentului de conectare și curentul nominal de linie  $I_n$  al bateriei simple:

$$\frac{I_{Mc}}{I_n} = 3 \dots 10, \text{ la tensiuni de } 220 \dots 500 \text{ V} \quad (6.21)$$

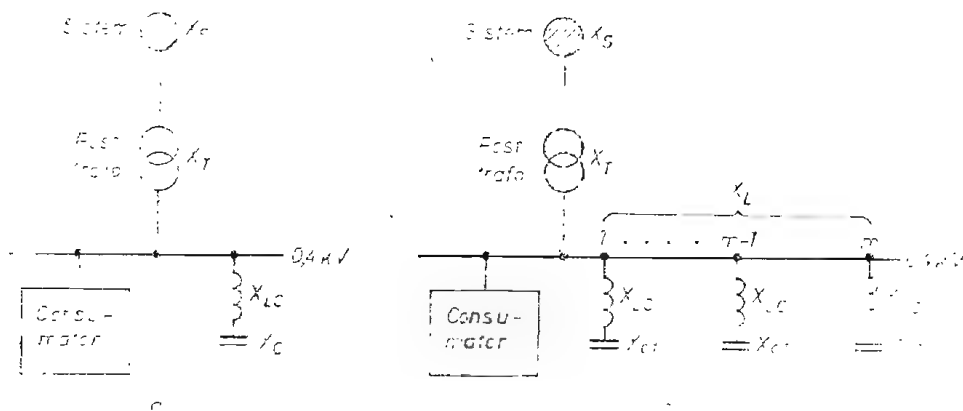


Fig. 6.6. Schema electrică echivalentă a compensării unui consumator printr-o baterie:  
a — simplă; b — în trepte.

și

$$\frac{I_{Mcc}}{I_{C0}} = 5 \dots 10, \text{ la tensiuni de } 1 \dots 20 \text{ kV.} \quad (6.22)$$

Pentru stabilirea  $I_{Mcc}$  se consideră schema echivalentă din figura 6.6, a de compensare a unui consumator printr-o baterie de condensatoare simplă, conectată la barele de JT ale postului de transformare;  $X_s$  este reactanța sistemului,  $X_T$  — reactanța transformatorului,  $X_C$  — reactanța bateriei,  $X_L$  — reactanța inductivă a conductoarelor de legătură a bateriei la barele generale.

Neglijând amortizarea circuitului, amplitudinea curentului de conectare se poate calcula cu relația:

$$I_{Mcc} = \sqrt{2} I_{C0} \left( 1 + \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q_C}} \right) = \sqrt{2} I_{C0} \left( 1 + \sqrt{\frac{X_d}{X_L}} \right), \quad (6.23)$$

în care:  $S_{sc}$  este puterea de scurtcircuit a sistemului energetic, în punctul de racord al bateriei;

$Q_C$  — puterea bateriei de condensatoare, iar  $X_d = X_s + X_T + X_L$ ; frecvența proprie de oscilație a circuitului la  $f = 50$  Hz este

$$f_p = f \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q_C}}. \quad (6.24)$$

Ținând cont de factorul de amortizare  $d$  al circuitului ( $d$  depinde de  $\sqrt{\frac{L}{C}}$  și  $R$ , în care  $R$ ,  $L$  sînt rezistența, respectiv inductivitatea circuitului sistem-transformator-conductoare de legătură a condensatorului C la bare), în figura 6.7 este dată variația amplitudinii curentului de conectare.

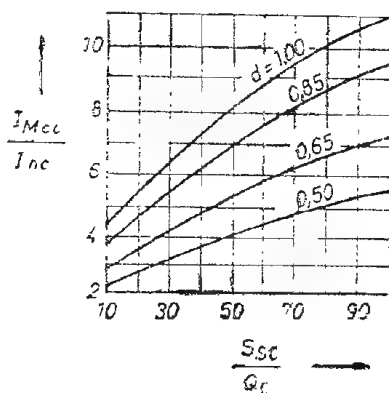


Fig. 6.7. Variația amplitudinii curentului de conectare în funcție de puterea de scurtcircuit și factorul de amortizare.

Reducerea curentului de conectare este posibilă prin introducerea unor bobine de reactanță în serie cu bateria de condensatoare (se mărește termenul  $X_{Lc}$ ).

Supratensiunea  $U_{Mcc}$  care apare în circuit la conectarea condensatoarelor nu depășește în general dublul valorii maxime a tensiunii  $U_r$  a rețelei de alimentare, adică

$$\frac{U_{Mcc}}{U_r \sqrt{2}} \leq 2. \quad (6.25)$$

## 2) Deconectarea bateriei simple

Valoarea amplitudinii  $I_{Mdc}$  a curentului de deconectare al bateriei simple, este

$$I_{Mdc} = \frac{U_{Mdc}}{U_r} \sqrt{\frac{3}{2}} \frac{f_r}{2\pi f} I_{lc}, \quad (6.26)$$

în care  $U_{Mdc}$  este supratensiunea la deconectare (relația 6.27). Valoarea curentului de deconectare este întotdeauna mult mai mare decât cea a curentului de conectare.

În punct de vedere al tensiunii situația cea mai defavorabilă apare când punctul neutru al rețelei este legat la pământ, iar punctul neutru al bateriei este izolat.

Supratensiunea care apare poate să atingă valoarea

$$U_{Mdc} = 3,36 \sqrt{2} U_r. \quad (6.27)$$

## 3) Conectarea bateriei în trepte

Curentul de conectare al unei trepte este mărit în mod apreciabil de treptele conectate în prealabil la rețea. Supracurentul maxim apare deci la conectarea ultimei trepte, situație în care condensatoarele celorlalte trepte aflate sub tensiunea  $\sqrt{2} U_r$  se descarcă pe cele ale ultimei trepte.

Amplitudinea curentului de conectare neamortizat al ultimei trepte  $m$  în ipoteza că toate treptele au aceeași reactanță  $X_{Lc}$  (fig. 6.6, b), este

$$I_{Mcc} = \frac{2}{\sqrt{3}} I_{lc} \frac{m-1}{m} \sqrt{\frac{X_{Lc}}{X_L}}, \quad (6.28)$$

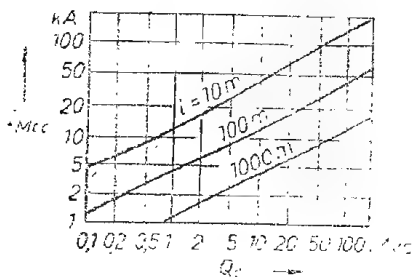


Fig. 6.8. Amplitudinea curentului de conectare neamortizat la conectarea ultimei trepte a unei baterii formate din două trepte egale, în funcție de puterea  $Q_c$  a bateriei și lungimea  $l$  a barelor la legătură.

în care:  $I_{lc}$  este curentul nominal de linie al condensatoarelor unei trepte;

$X_L$  — reactanța inductivă a conexiunilor între trepte ( $L = 0,4 \dots 1 \mu\text{H/m}$ ).

Pentru o orientare rapidă, în figura 6.8 se reprezintă amplitudinea curentului de conectare neamortizat în funcție de puterea bateriei conectate și de lungimile barelor de legătură, în ipoteza că bateria este formată din două trepte egale și inductivitatea conductoarelor de legătură este de  $1 \mu\text{H/m}$ .



Reducerea curentului de deconectare se realizează prin înserierea unor bobine care măresc valoarea  $X_L$  din relația (6.28).

Supratensiunea maximă apare la conectarea primei trepte și poate atinge cel mult dublul valorii tensiunii rețelei de alimentare (rel. 6.25).

#### 4) Deconectarea bateriei în trepte

Cu oarecare aproximație se pot utiliza indicațiile și relațiile de la conectarea bateriei în trepte.

**Observație.** Relațiile prezentate în cadrul acestui paragraf au un caracter informativ, deoarece există mari dificultăți în determinarea parametrilor circuitului și a tensiunii de remorșare a arcului, valorile obținute pentru supracurenți și supratensiuni fiind însă acoperitoare pentru calcule.

### 6.5.4. DESCĂRCAREA BATERIILOR DE CONDENSATOARE

Pentru a evita electrocutarea personalului în cazul intervențiilor la baterii, acestea trebuie să se descărcă rapid după deconectare.

Descărcarea se realizează prin:

- lămpi electrice cu incandescență sau rezistoare conectate la bornele bateriei, în JT;
- înfășurările motoarelor sau transformatoarelor compensate individual, în JT sau MT;
- transformatoare de tensiune conectate în V, la MT;
- rezistoare de descărcare ale întreruptoarelor speciale pentru bateriile de condensatoare.

Instalația de descărcare trebuie să asigure scăderea tensiunii sub valoarea maxim admisă  $U_{adm} = 42 \text{ V}$  în timpul de descărcare  $t_d$  de maximum 5 minute la baterii de MT și de maximum 1 minut la bateriile de JT [38].

Valoarea rezistenței de descărcare este dată de relația

$$R = \frac{t_d}{C_n \ln \frac{U_n \sqrt{2}}{U_{adm}}} \quad (6.29)$$

în care:  $C_n$  este capacitatea nominală pe fază a bateriei, iar  $U_n$  tensiunea de fază a rețelei. Pe baza acestei relații s-a construit nomograma din figura 6.9, care permite determinarea valorii maxime a rezistenței de descărcare  $R$  pentru o baterie de capacitate  $C_n$  dată, astfel încât după trecerea timpului de descărcare  $t_d$  impus, tensiunea la bornele bateriei să aibă o valoare inferioară tensiunii maxime admise  $U_{adm}$ ; nomograma se parcurge în sensul indicat de săgeți.

### 6.5.5. ECHIPAMENTUL ELECTRIC ȘI SCHEMELE DE PRINCIPIU ALE BATERIILOR DE CONDENSATOARE

Echipamentul electric al bateriilor de condensatoare se compune din:

- aparate de protecție împotriva scurtcircuitelor externe și împotriva supracurenților, împotriva supratemperaturilor mediului ambiant și împotriva electrocutării;
- aparate de măsurat;
- sisteme de reglare automată.

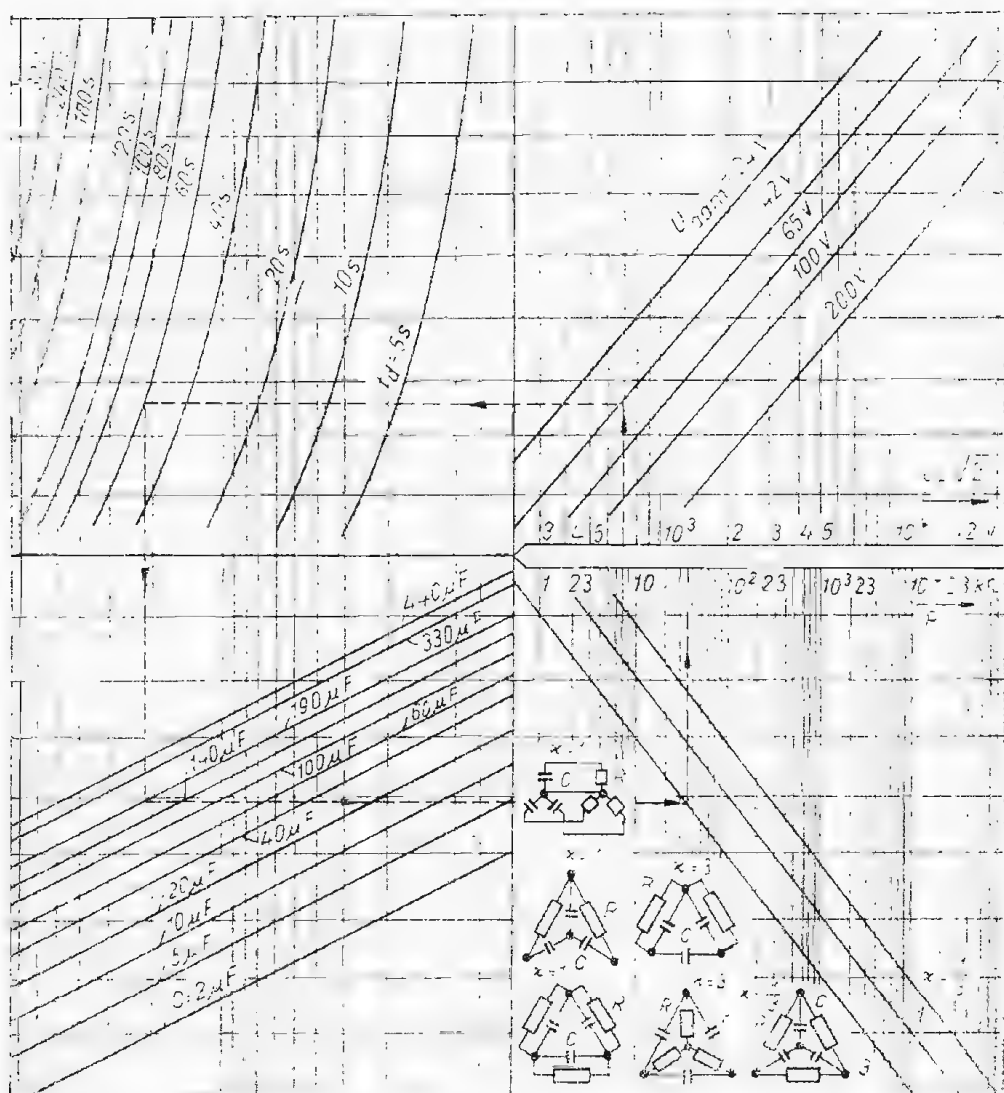


Fig. 6.9. Nomogramă de calcul a circuitelor de descărcare pentru bateriile de condensatoare.

Protecția împotriva scurtcircuitelor externe și a supracurențiilor este realizată cu:

- siguranțe fuzibile, în cazul bateriilor fixe de JT;
- siguranțe fuzibile și contactoare cu relec termice, în cazul bateriilor comutabile manual sau automat, cu una sau mai multe trepte de JT;
- siguranțe fuzibile și separatoare de sarcină, în cazul bateriilor fixe și comutabile manual de MT;
- întrerupătoare automate, în cazul bateriilor comutabile manual sau automat, cu una sau mai multe trepte, de JT sau MT.

Siguranțele fuzibile rapide se aleg pe baza condițiilor:

$$U_{nf} \geq U_r; \quad (6.30)$$

$$I_{nf} \geq I_{nc}; \quad (6.31)$$

$$I_{nc} \geq \frac{I_{Mac}}{2,5} \quad (6.32)$$

$$\text{și} \quad I_r \geq I_{Mac} I. \quad (6.33)$$

În aceste relații:  $U_{nf}$ ,  $I_{nf}$  sînt tensiunea, respectiv curentul nominal al fuzibilului siguranței;  $U_r$  — tensiunea rețelei de alimentare;  $I_{nc}$  — curentul nominal al bateriei sau treptei de condensatoare;  $I_{Mac}$ ,  $I_{nr}$  — amplitudinea curentului de conectare, respectiv deconectare a bateriei sau treptei;  $I$  — capacitatea de rupere a fuzibilului siguranței.

Contactoarele cu relee termice și întreruptoarele automate trebuie să îndeplinească condițiile:

$$U_n \geq U_r; \quad (6.34)$$

$$I_n \geq 1,4 I_{nc}; \quad (6.35)$$

$$I_n \geq I_{Mac}; \quad (6.36)$$

$$I_r \geq I_{Mac}. \quad (6.37)$$

În aceste relații:  $U_n$ ,  $I_r$  sînt tensiunea, respectiv curentul nominal al aparatului;  $I_n$ ,  $I_r$  sînt capacitatea la închidere, respectiv de rupere. Releele termice se reglează la valoarea

$$I_r = 1,3 I_{nc}. \quad (6.38)$$

În releele electromagnetice cu acțiune instantanee la

$$I_n \geq 1,2 I_{nc}. \quad (6.39)$$

Conductoarele de legătură la bare ale bateriei de condensatoare se dimensionează la curentul maxim cerut

$$I_c \geq 1,4 I_{nc}. \quad (6.40)$$

**Observații.** 7. Tipurile întreruptoarelor și separatoarelor de sarcină de medie tensiune fabricate în țara noastră verificate pentru conectarea condensatoarelor sînt indicate în tabelul 6.4.

2. Reducerea  $I_{Mac}$  și  $I_{nr}$  în ideea micșorării capacităților de rupere și închidere ale aparatelor, se obține prin inserierea unor bobine de reactanță cu bateriile de condensatoare; bobinile se protejează împotriva supratensiunilor prin descărcătoare.

Protecția împotriva scurtecircuitelor interne, provocate de străpungera dielectricului, se realizează în două moduri:

— cu siguranțe fuzibile montate în cuva condensatoarelor, pe fiecare fază;

— cu relee, în special pentru bateriile de MT; la conexiunea stea dublă a condensatoarelor se utilizează protecție de curent sau tensiune minimă (fig. 6.12 și 6.13) care sesizează dezechilibrarea neutrului bateriei defecte. Iar la conexiunea triunghi — protecția diferențial-transversală [18].

Condensatoarele trebuie deconectate de la rețea dacă temperatura ambiantă depășește  $+35^\circ\text{C}$ . Aceasta impune pe de o parte ventilarea

Caracteristicile întreruptoarelor și separatoarelor de sarcină de medie tensiune fabricate în R. S. România, utilizate pentru conectarea bateriilor de condensatoare

Tipul întreruptorului	Curent de rupere în sarcină capacitivă, $I_r$ [A]	Curent de închidere, $I_f$ [kA]
IUP-10/630	230	42
IO-10/630	315	62
IO-10/1250	170	66
IO-10/2500		80
IUP-15/630		41,5
IO-15/630		60
IO-15/1250	400	63
IO-15/2500		73,5
IUPM-24/630		34
IUP-25/1250		38,5
IO 20/630		43
IO-20/1250	40	53
IO-20/2500		53
STIS-10/400		
STIS-20/200	30	

naturală sau forțată a încăperilor în care se montează bateriile și pe de altă parte prevederea, la bateriile mari, a termometrelor cu contacte, care să comande declanșarea întreruptoarelor automate.

Protecția împotriva electrocutării se realizează prin descărcarea condensatoarelor deconectate de la rețea (par. 6.5.4) și prin legarea de protecție la pământ a cuvelor.

Aparatele de măsură necesare unei exploatare corecte a bateriilor de condensatoare sînt:

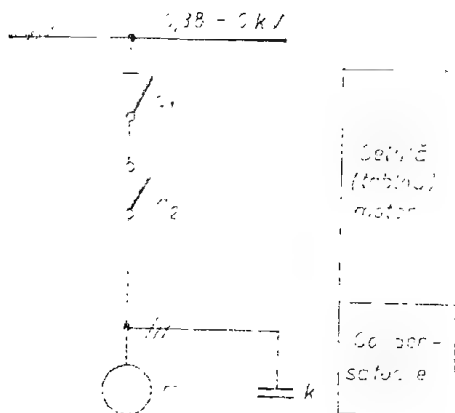
-- ampermetre pe fiecare fază, pentru sesizarea supracurenților datorate armoniilor superioare și a dezechilibrului provocat de topirea siguranțelor fuzibile interioare;

-- un voltmetru pentru sesizarea unei supratensiuni excesive.

Sistemul de reglare automată permite reglajul puterii unei baterii controlabile, prin conectarea sau deconectarea treptelor în funcție de variațiile puterii reactive, evitîndu-se în acest mod debitarea de energie reactivă în sistemul energetic. Regulatele automate comandă întreruptoarele sau contactoarele treptelor în funcție de puterea reactivă (blocul de comandă automată BCA), factorul de putere sau tensiunea, măsurate în punctul de recordare al bateriei de condensatoare.

Blocul BCA este un regulator tripozițional cu acționare pas cu pas. Regulatorul automat are ca mărime de intrare curentul reactiv, mărime ce se obține ușor în blocul de măsură al regulatorului prin intermediul unui modulator serie-paralel cu tranzistori, urmat de un filtru și un amplificator de curent continuu. Comanda modulatorului se face cu o tensiune proporțională cu tensiunea între fazele R și S, iar mărimea comandată

Fig. 6.10. Schema de principiu a compensării individuale în JT sau MT cu baterie fixă.



este o tensiune proporțională cu curentul pe faza  $T$ . În acest fel, în cazul unui sistem trifazat echilibrat, mărimea este corectată și nu necesită ca echipament suplimentar decât un singur transformator de curent. Tensiunea proporțională cu curentul reactiv va comanda în continuare detectorul, a cărui zonă de insensibilitate are o mărime proporțională cu valoarea puterii reactive a unei trepte a bateriei. Realizând această valoare a zonei insensibilității, proporțională și cu tensiunea rețelei, se obține un reglaj independent de variația tensiunii rețelei.

Regulatorul mai cuprinde un generator de tact și un numărător electronic reversibil, care printr-un sistem de decodificare, comandă relele de comandă ale contactoarelor.

Figurile 6.10 ... 6.13 prezintă schemele de bază ale bateriilor de condensatoare pentru compensarea individuală și centralizată, în JT sau MT, cuprinzând circuitele primare și secundare aferente.

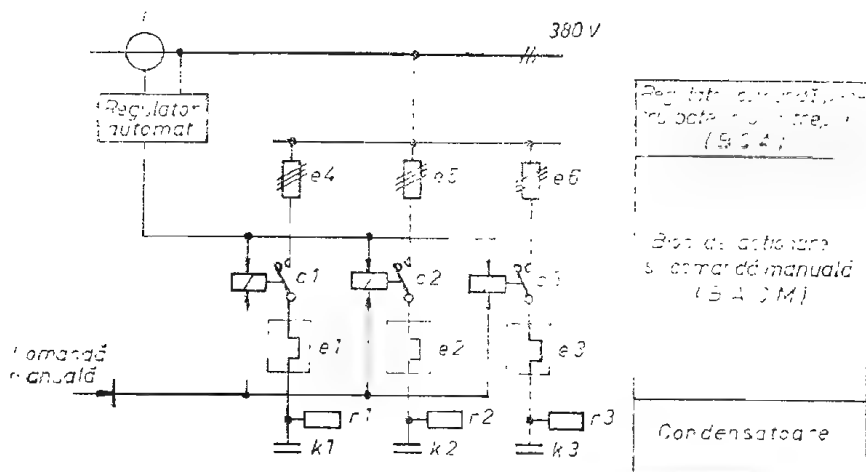


Fig. 6.11. Schema de principiu a compensării centralizate în JT cu baterie comutabilă automat sau manual, în trei trepte.

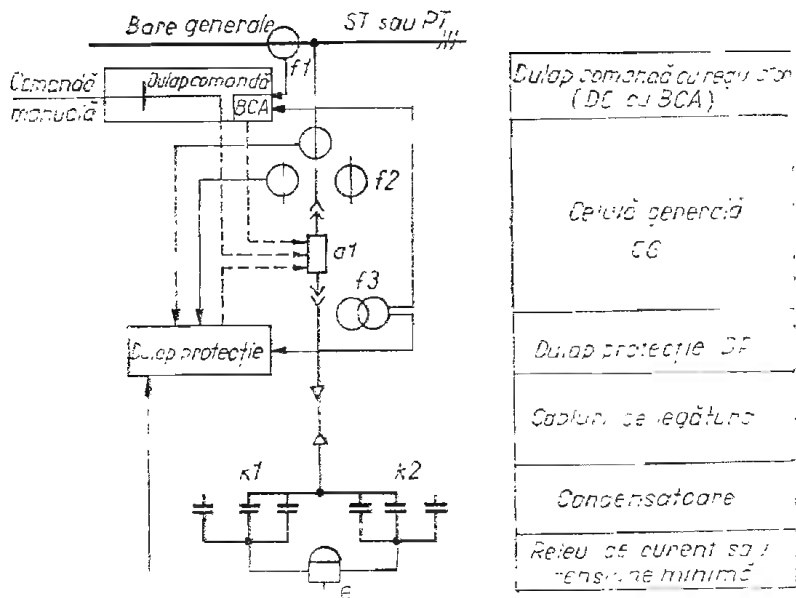


Fig. 6.12. Schema de principiu a compensării centralizate în MT cu baterie comutabilă automat sau manual, cu o treaptă.

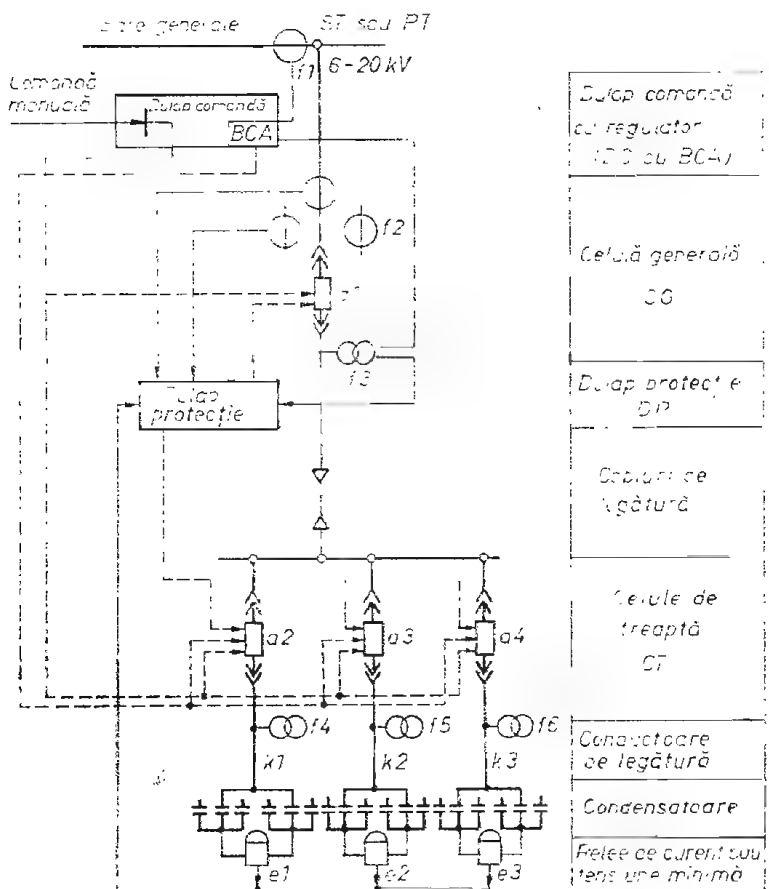


Fig. 6.13. Schema de principiu a compensării centralizate în MT cu baterie comutabilă automat sau manual, cu trei trepte.

## 6.6. COMPENSATOARE SINCRONE

Compensarea puterii reactive prin folosirea mașinilor electrice sincrone se bazează pe faptul că acestea, în regim de supraexcitație, produc putere reactivă.

Mașinile sincrone pot funcționa ca :

- motoare sincrone, producând putere mecanică și putere electrică reactivă ;

- compensatoare sincrone, producând numai putere reactivă.

În afara cazurilor în care procesul tehnologic impune utilizarea motorului asincron, motoarele asincrone compensate individual cu condensatoare derivație pot fi înlocuite cu motoare sincrone, dacă această înlocuire este justificată din punct de vedere economic (par. 6.8).

Puterea aparentă  $S_c$  a mașinii sincrone (fig. 6.2) se stabilește din relația

$$S_c = \sqrt{\Delta P_c^2 + Q_c^2} \quad (6.41)$$

în care :  $\Delta P_c$  reprezintă pierderile de putere activă ale compensatorului sincron sau suma acelorasi pierderi cu puterea mecanică în cazul motorului sincron ;  $Q_c$  — puterea reactivă debitată de mașina sincronă pentru ridicarea factorului de putere al consumatorului la valoarea neutrală  $\cos \varphi_2$ , adică

$$Q_c = Q_1 - (P_1 + \Delta P_c) \operatorname{tg} \varphi_2. \quad (6.42)$$

În țara noastră se construiesc compensatoare sincrone avînd puterea de 60 Mvar, la tensiunea de 10,6 kV și 1 000 rot/min. [1].

O problemă specială a compensatoarelor sincrone se referă la adoptarea unui sistem de pornire. Metodele uzuale sînt : pornirea în asincron, pornirea cu motor auxiliar și pornirea cu autotransformator. Metoda cea mai modernă este cu autotransformator, pornirea fiind directă, prin conectarea sistemului bloc autotransformator — compensator la rețea. Curentul de pornire este redus la circa 40% din curentul nominal, prin variația tensiunii de alimentare : la intrarea în sincronism, autotransformatorul este deconectat.

## 6.7. COMPENSAREA VARIATIILOR RAPIDE ALE CONSUMULUI DE PUTERE REACTIVĂ

Între receptoarele de energie electrică care produc în funcționarea lor variații rapide (șocuri) de putere reactivă, se menționează :

- cuptoarele electrice, care produc variații rapide de putere reactivă în special în perioada de topire, cînd se produc scurtcircuite sau stingeri ale arcului electric pe diferitele faze ale sistemului trifazat reprezentat de electrozi ;

- laminoarele, prevăzute cu acționări de curent continuu, alimentate prin mutatoare, care produc variații rapide ale puterii reactive la

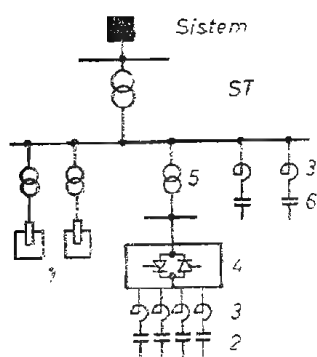


Fig. 6.14. Baterie de condensatoare cu trepte comutabile prin întreruptoare cu tiristoare:

1 - cupatoare cu arc; 2 - baterie (comutabilă) de condensatoare; 3 - bobine de reactanță pentru limitarea curenților de conectare-deconectare; 4 - întreruptor cu tiristoare; 5 - post de transformare; 6 - baterie fixă de condensatoare.

Treptele comutate prin întreruptoare cu tiristoare (fig. 6.14) permit reducerea timpului de conectare succesivă a treptelor la  $10 \div 20$  ms.

## 6.8. EFICIENȚA ECONOMICĂ A COMPENSĂRII PUTERII REACTIVE

### 6.8.1. METODA CHELTUIELILOR TOTALE ACTUALIZATE

Efficiența economică a compensării puterii reactive se pune în evidență prin metoda cheltuielilor anuale actualizate, comparându-se pentru fiecare variantă (mijloace naturale, surse specializate, soluții de amplasare) soluțiile fără compensare (corespunzătoare  $\cos \varphi$  natural), cu cele de compensare la diferite nivele ale  $\cos \varphi$ , inclusiv  $\cos \varphi$  neutral.

Soluția optimă din punct de vedere al eficienței economice se pune în evidență prin comparația următorilor indici:

- cheltuielile anuale în variantele cu și fără compensare;
- durata de amortizare a investiției pentru instalațiile de compensare;
- prețurile de cost ale energiei reactive produse în instalațiile de compensare.

Cheltuielile anuale  $C$  conțin următoarele componente:

$$C = C_{Ea} + C_{Ers} + C_r + C_p \text{ [lei]}, \quad (6.43)$$

în care:  $C_{Ea}$  este costul energiei active cumpărate de consumator;  
 $C_{Ers}$  — costul energiei reactive suplimentare cumpărate, în cazul nerealizării factorului de putere neutral;

prinderea blocurilor de oțel între cilindrii laminorului.

Pentru evitarea variațiilor bruște de tensiune care apar în rețele cu urmărirea variațiilor rapide de putere reactivă, se prevăd compensatoare sincrone cu excitație rapidă sau baterii de condensatoare comutabile automat prin întreruptoare cu tiristoare.

Compensatoarele sincrone de acest tip special se caracterizează printr-o putere nominală de durată și o putere de vîră, de scurtă durată (egală cu  $2 \div 3$  ori puterea de durată) și printr-o pantă mai pronunțată de creștere a sarcinii reactive. La compensatoarele destinate cuptoarelor electrice pantele sînt de ordinul  $150 \div 200$  MVA/s, iar cele utilizate la laminare au pantele de ordinul  $500 \div 600$  MVA/s.

Comutarea treptelor bateriei de condensatoare prin intermediul contactoarelor uzuale nu permite compensarea rapidă deoarece intervalul de timp între conectările succesive a două trepte este de ordinul a 5 secunde.



$C_I$  — cheituielile anuale pentru instalațiile de compensare (amortizări, întreținere, reparații);

$C_P$  — costul pentru puterea activă a consumatorului.

Durata de amortizare  $T$  a investițiilor este dată de raportul investiției  $I$  pentru compensare, la economia de cheituieli ce se realizează datorită compensării

$$T = \frac{I}{C_{Lr} - C_I} \text{ [ani]}. \quad (6.44)$$

Compensarea puterii reactive la factorul de putere neutral este avantajoasă, dacă amortizarea instalației de compensare se face în maximum 5 ani.

Costul  $c$  al energiei reactive produse în instalațiile de compensare este:

$$c = \frac{C_{\Delta P_r} + C_{\Delta E_r} - C_I}{E_{rr}} \text{ [lei/kvarh]}, \quad (6.45)$$

în care:  $C_{\Delta P_r}$ ,  $C_{\Delta E_r}$  sint cheituielile anuale aferente pierderilor de putere, respectiv de energie în instalația de compensare;  
 $E_{rr}$  — energia reactivă produsă de instalația de compensare.

Economia la costul energiei reactive, în cazul realizării  $\cos \varphi$  neutral, rezultă de regulă din costul mai mic al kvarh produsă local la consumator față de cea cumpărată de la furnizorul energiei electrice în situația în care nu se face compensare.

Etapele de calcul a indicilor economiei menționați sint următoarele:

- 1 — alegerea mijloacelor naturale de compensare (subcap. 6.3);
- 2 — stabilirea curbei anuale de sarcină activă a consumatorului, a puterilor maxime absorbite active  $P$  și reactive  $Q$ -denumite consum propriu-zis, la diferite niveluri de tensiune, pentru varianta de compensată;
- 3 — determinarea circulației de puteri active și reactive în rețeaua consumatorului, utilizînd schema electrică echivalentă;
- 4 — calculul puterilor și energiilor active și reactive pentru varianta necompensată și determinarea factorului de putere natural (rel. 6.1 sau 6.2);
- 5 — alegerea variantelor de compensare, variabile fiind tipul și amplasarea surselor specializate de putere reactivă (subcap. 6.4);
- 6 — stabilirea puterii reactive a surselor (rel. 6.3 sau 6.1) și alegerea  $\cos \varphi$  neutral (în general 0,92);
- 7 — calculul puterilor și energiilor, active și reactive, pentru toate variantele de compensare;
- 8 — calculul factorului de putere, la vîrf de sarcină și anual;
- 9 — calculul indicilor eficienței economice;
- 10 — alegerea variantei optime din punct de vedere al eficienței economice, adică al aceleia care prezintă valori minime ale duratei de amortizare  $T$  și ale prețului  $C$  al energiei reactive.

## 6.8.2. CALCULUL PUTERILOR ȘI ENERGIIILOR

Utilizând schema echivalentă simplificată din figura 6.15, se prezintă calculul puterilor și energiilor, pe baza circulației puterilor, în variantele fără compensare și cu compensare, cu baterie centralizată fixă de condensatoare  $Q_c$  pe barele de JT ale postului de transformare.

Pierderile de putere activă  $\Delta P$  și reactivă  $\Delta Q$  se calculează cu ajutorul tabelului 3.24. Pierderile și aportul capacitiv al cablurilor se vor considera numai la determinarea pierderilor totale absorbite din rețea. Pierderile de putere activă în condensatoare sînt:

$$\Delta P_c = p_c Q_c \text{ [kW]}, \quad (6.46)$$

în care  $p_c$  sînt pierderile specifice ale condensatoarelor avînd valori în gama 1 ... 5 kW/Mvar (condensatoarele din țară au în prezent  $p_c = 3.5$  kW/Mvar.)

Puterile totale active  $P_c$  și reactive  $Q_c$ , denumite deficite acoperite de sistem, se obțin prin însumarea algebrică a puterilor și pierderilor din schema circulației puterilor.

Energia activă anuală totală deficit este

$$E_{a1} = E_c + \Delta E_a + \Delta E_{ac} + E_{aop} \text{ [kWh]}, \quad (6.47)$$

în care:  $E_a$  este consumul propriu-zis

$$E_a = P \cdot t_{pM}; \quad (6.48)$$

$\Delta E_a$  — pierderile în rețea

$$\Delta E_r = \Delta P_r \cdot \tau; \quad (6.49)$$

$\Delta E_{ac}$  — pierderile în instalația de compensare

$$\Delta E_{ac} = \Delta P_c \cdot t_{qM}; \quad (6.50)$$

$E_{a1}$  — producția netă în centrala proprie.

În aceste relații  $t_{pM}$  este durata de utilizare anuală a puterii active maxime absorbite (tab. 1.7),  $\tau$  — timpul anual de pierderi (fig. 3.22) la  $\cos \varphi$  neutral și  $t_{qM}$  — durata de utilizare anuală a puterii reactive maxime produse de instalația de compensare (circa 3 000 h/an pentru întreprinderi cu un schimb, 5 500 h/an la două schimburi și 5 500 ... 8 000 h/an la trei schimburi);

$\Delta P_r$  — pierderile totale de putere activă (fig. 6.15);  $P$  — puterea activă maximă absorbită.

Energia reactivă anuală totală (deficit) este

$$E_{r1} = E_r + \Delta E_r - E_{rc}, \quad (6.51)$$

în care:  $E_r$  este consumul propriu-zis

$$E_r = Q \cdot t_{qM}; \quad (6.52)$$

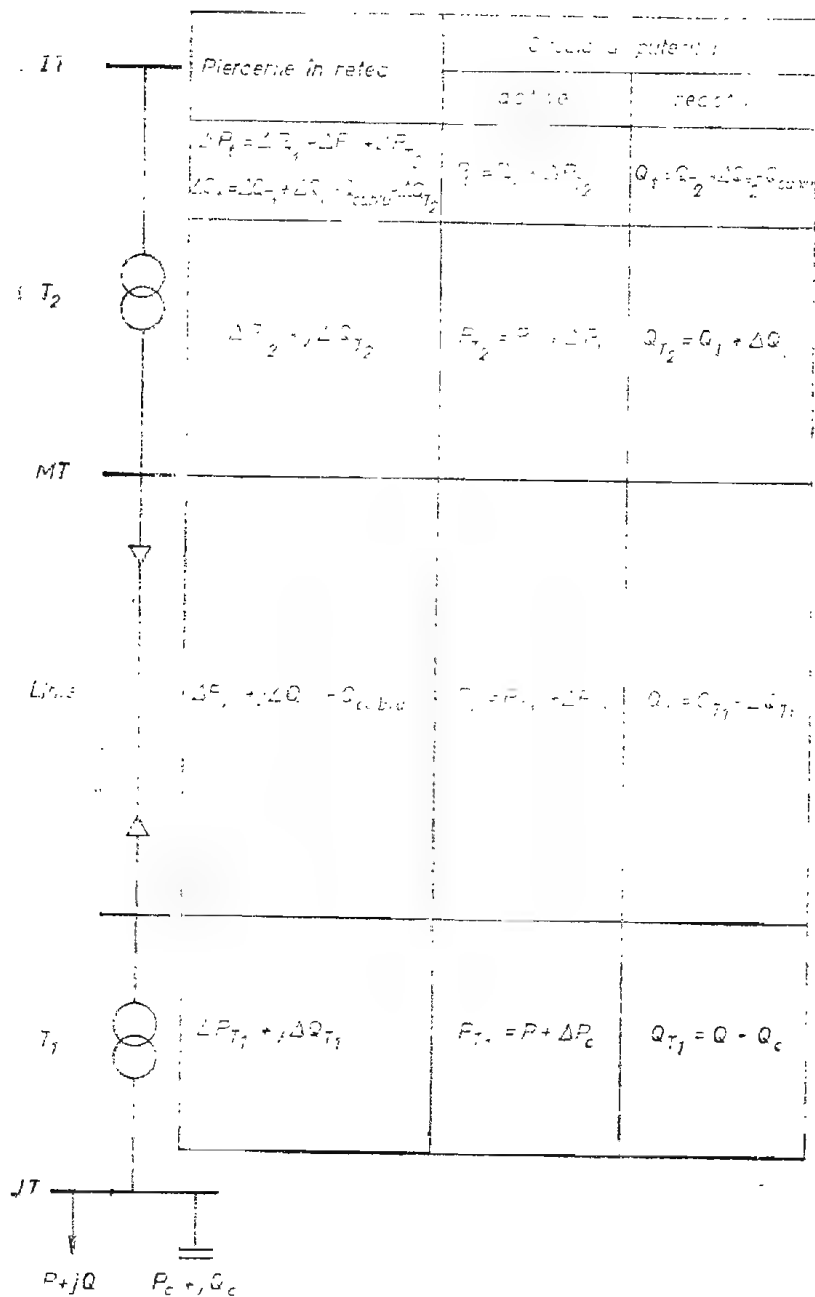


Fig. 6.15. Schema electrică echivalentă simplificată a circulației puterilor active și reactive.

$\Delta E_r$  — pierderile în rețea

$$\Delta E_r = \Delta Q_r \cdot \tau; \quad (6.53)$$

$E_{rc}$  — producția în instalațiile de compensare

$$E_{rc} = Q_c \cdot t_{qm}; \quad (6.54)$$

$Q_r$  — pierderile totale de putere reactivă (fig. 6.15).

Cota de energie reactivă suplimentară în varianta compensată la un  $\cos \varphi \neq \cos \varphi$  neutral este dată de relația

$$E_{rs} = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)t_{qm}, \quad (6.55)$$

$\operatorname{tg} \varphi_1$  corespunzând  $\cos \varphi$  compensat sub  $\cos \varphi$  neutral, iar  $\operatorname{tg} \varphi_2$  la  $\cos \varphi$  neutral.

### 6.8.3. CALCULUL CHELTUIELILOR ANUALE ȘI A EFICIENȚEI ECONOMICE

Costul energiei active cumpărate de consumator este

$$C_{sa} = \alpha_a E_a, \quad (6.56)$$

în care  $\alpha_a$  este prețul energiei active în lei/kWh — tabelul 6.1.

Costul energiei reactive suplimentare în cazul nerealizării  $\cos \varphi$  neutral este

$$C_{sr} = \alpha_r E_{rs}, \quad (6.57)$$

în care  $\alpha_r$  este prețul energiei reactive (tab. 6.1).

Cheltuielile anuale pentru instalațiile de compensare sînt

$$C_f = c_f I_c, \quad (6.58)$$

în care:  $c_f$  sînt cheltuielile anuale relative pentru instalația de compensare,  $c_f = 0,11$  [39];

$I_c$  — investiția pentru instalația de compensare.

Valoarea investiției este formată din prețul de livrare al uzinei, la care se adăugă cota construcții-montaj de circa 10%. În prețul de livrare al condensatoarelor se vor include toate componentele indicate în figurile 6.11—6.14.

Orientativ, pentru condensatoare

$$I_c = a Q_c \text{ [lei]}, \quad (6.59)$$

în care  $a$  reprezintă costurile specifice de investiții, indicate în figura 6.16 (nu s-a inclus costul clădirii).

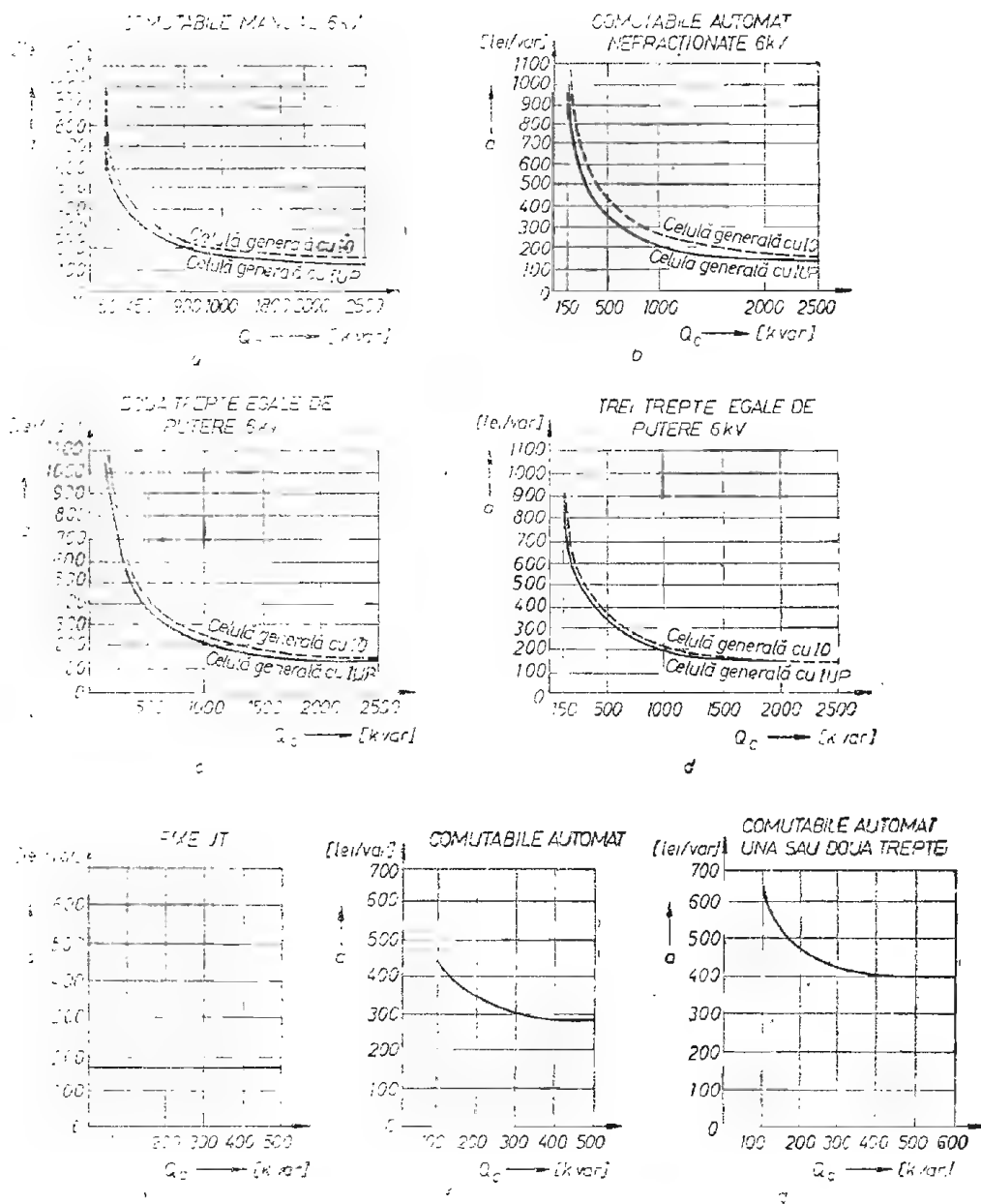


Fig. 3.16. Costurile specifice de investiții  $a$ , în lei/kvar, ale bateriilor de condensatoare în funcție de puterea bateriei  $Q_c$ .

Costul puterii active la consumator este

$$C_P = \gamma P, \quad (6.60)$$

cu  $\gamma$  prețul pentru puterea activă la consumator — tabelul 6.1.

Cheltuielile anuale aferente instalației de compensare sînt:

— pentru pierderile de putere

$$C_{\Delta P_e} = \gamma \Delta P_e; \quad (6.61)$$

— pentru pierderile de energie

$$C_{\Delta E_e} = \alpha_e \Delta E_e \quad (6.62)$$

Cu relațiile (6.43), (6.44) și (6.45) se calculează indicatorii eficienței economice care permit alegerea variantei optime de compensare.

#### 6.8.4. COMPARAȚIA TEHNICO-ECONOMICĂ ÎNȚRE MOTORUL SINCRON ȘI MOTORUL ASINCRON COMPENSAT

Se compară motorul sincron la  $\cos \varphi = 1$  cu motorul asincron compensat de la  $\cos \varphi$  natural la  $\cos \varphi = 1$  cu baterie de condensatoare, din punct de vedere al investițiilor totale și al cheltuielilor anuale.

Investițiile totale sînt:

— pentru motorul sincron

$$I_s = I_{\omega} + I_{As}; \quad (6.63)$$

— pentru motorul asincron

$$I_a = I_{ma} + I_{As} + I_e; \quad (6.64)$$

În aceste relații: —  $I_{\omega}$  este investiția propriu-zisă pentru motorul sincron, iar  $I_{As}$  investiția pentru echipamentul de pornire automată;

—  $I_{ma}$  este investiția propriu-zisă pentru motorul asincron, iar  $I_{As}$  — investiția pentru echipamentul de pornire automată;

—  $I_e$  este investiția pentru bateria de condensatoare; la aceste valori se va include și cota de construcții-montaj.

Cheltuielile anuale pentru motorul sincron cuprind cheltuielile anuale pentru investiție (amortizări, reparații, întreținere) și cheltuielile pentru puterea și energia activă absorbită de motor, conform relației

$$C_s = c_{ms} I_{ms} + c_A I_{As} + k_{\omega} \frac{P_{ms}}{\eta_s} (\gamma + \alpha_s i_s), \quad (6.65)$$

în care:  $c_{ms}$  reprezintă cheltuielile anuale relative pentru motorul sincron;  
 $c_A$  — cheltuielile anuale relative aferente echipamentului de automatizare

$k_{is}$	—	coeficientul de încărcare al motorului sincron;
$P_{n\sigma}, \eta_s$	—	puterea nominală, respectiv randamentul;
$\gamma$	—	prețul pentru putere la consumator;
$\alpha_e$	—	prețul energiei active;
$t_s$	—	durata anuală de funcționare a motorului.

Cheltuielile anuale pentru motorul asincron conțin în plus și cheltuielile anuale pentru bateria de condensatoare:

$$C_a = c_{ma} I_{ma} + c_{Ac} I_{Ac} + k_{ia} \frac{P_{ac}}{\eta_s} (\gamma + \alpha_e t_a) + p_c Q_c (\gamma + \alpha_e t_a). \quad (6.66)$$

Soluția cu motor sincron este avantajoasă dacă investițiile totale și cheltuielile anuale sînt mai reduse decît cele aferente variantei cu motor asincron compensat sau dacă investiția suplimentară pentru motorul sincron se amortizează în mai puțin de 5 ani, prin reducerea cheltuielilor de exploatare, adică

$$T = \frac{I_s - I_a}{C_s - C_a} \leq 5. \quad (6.67)$$

## INSTALAȚII PENTRU REDUCEREA REGIMULUI DEFORMANT

### 7.1. CAUZELE ȘI EFECTELE REGIMULUI DEFORMANT

Regimul deformant este regimul energetic ale cărui unde de tensiune și curent sînt periodice și cel puțin una dintre ele este nesinusoidală. Acest regim se datorește funcționării în cadrul sistemului energetic a receptoarelor deformante, care produc sau amplifică regimul deformant.

Receptoarele deformante generatoare de tensiuni armonice  $U_v$  (fig. 7.1, *a*) sînt mașinile sincrone în sarcină dezechilibrată și transformatoarele cu circuitul magnetic saturat (armonicile 5 și 7 în special). Generatoare de curenți armonici  $I_v$  (fig. 7.1, *b*) sînt mutatoarele (redresoare, convertoare, cicloconvertoare) care produc armonici de ordinul 5, 7, 11 și 13, cuptoarele cu arc (armonica 3), bobinele cu miez de fier, instalațiile de sudare cu arc electric și lămpile fluorescente (armonica 3). Producerea regimului deformant de către aceste receptoare este o consecință a neliniarității impedanței lor interne.

Condensatoarele derivație sînt receptoare care amplifică regimul deformant. Avînd admitanța proporțională cu frecvența ( $Y_v = v\omega C$ ), condensatoarele amplifică deformarea curentului față de cea a tensiunii nesinusoidale de alimentare.

Regimul deformant produce următoarele efecte negative în sistemul energetic.

1) Distorsionarea tensiunii și a curentului la toate nivelele dintre generatoare și consumatori. Distorsiunea este caracterizată prin coeficientul de distorsiune al tensiunii

$$\delta_v = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}}{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}} 100 [\%]. \quad (7.1)$$

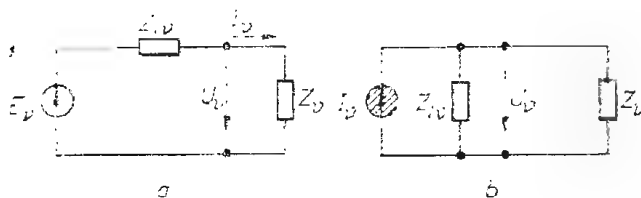


Fig. 7.1. Schema electrică echivalentă a:

*a* — generatorului de tensiune armonică; *b* — generatorului de curent armonic;  
 $v$  — ordinul armonicii superioare,  $E_v$ ,  $U_v$  și  $I_v$  — armonica de ordinul  $v$  a tensiunii electromotoare, tensiunii la borne și curentului;  $Z_{lv}$  — impedanța armonică interioară a generatorului;  $Z_v$  — impedanța armonică a sistemului energetic.



sau al curentului

$$\delta_i = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} I_v^2}}{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} I_v^2}} 100 [\%], \quad (7.2)$$

reprezentînd raportul dintre reziduul deformant și valoarea efectivă a unei periodice nesinusoidale;  $v$  este ordinul armonicilor superioare. O undă oarecare este considerată practic sinusoidală dacă

$$\delta \leq 5\%. \quad (7.3)$$

2) Supraîncărcarea condensatoarelor prin depășirea valorilor maxim admise — relațiile (6.18), ... (6.20).

3) Supratensiuni de rezonanță armonică datorită circuitelor rezonante formate din condensatoarele derivație instalate pentru compensarea puterii reactive și reactanțele inductive ale sistemului. Aceste tensiuni periclitează atât funcționarea condensatoarelor, cît și cea a receptoarelor.

4) Majorarea pierderilor de putere și energie în rețele datorită puterii aparente mărite

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}, \quad (7.4)$$

în care  $D$  este puterea deformantă.

5) Pierderi suplimentare și cupluri parazite în mașinile electrice.

6) Erori în funcționarea aparatelor de măsură, protecție și comandă. Erorile de măsură ale wattmetrelor (pînă la 3%) și ale contoarelor de inducție (pînă la 14%) se datoresc factorului de putere în regim deformant

$$K = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} = \cos \varphi \cos \xi, \quad (7.5)$$

în care  $\cos \varphi$  este factorul de putere în absența regimului deformant (rei. 6.1), iar

$$\cos \xi = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}. \quad (7.6)$$

## 7.2. CONDENSATOARELE ÎN REGIM DEFORMANT

Dintre toate elementele unei instalații electrice, condensatoarele sînt cel mai mult afectate de regimul deformant, ele constituind circuite de impedanță redusă pentru curenții armonici.

Dacă tensiunea nesinusoidală la bornele condensatorului are valoarea efectivă

$$U = \sqrt{U_1^2 + \sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}, \quad (7.7)$$

atunci curentul prin condensator este

$$I_c = \omega C U_1 \sqrt{1 + \sum_{v=2}^{\infty} (v^2 - 1) \left( \frac{U_v}{U_1} \right)^2}, \quad (7.8)$$

iar puterea

$$Q_c = \omega C U_1^2 \left\{ 1 + \sum_{v=2}^{\infty} \left[ (v^2 - 1) \left( \frac{U_v}{U_1} \right)^2 \right] \right\}; \quad (7.9)$$

$U_1$  este armonica fundamentală a tensiunii de fază.

Cunoscînd armonicile  $U_v$  ale tensiunii, pe baza măsurătorilor și analizei armonice, se pot determina supraîncărcările maxim admise față de valorile nominale în regim sinusoidal

$$\frac{I_c}{I_{nc}} \leq 1,3, \quad (7.10)$$

$$\frac{U}{U_{nc}} \leq 1,1 \quad (7.11)$$

și

$$\frac{Q_c}{Q_{n\bar{a}}} \leq 1,43. \quad (7.12)$$

Pentru realizarea condiției (7.11) este suficientă alegerea unor condensatoare avînd tensiunea nominală mai ridicată. Neîndeplinirea condițiilor (7.10) și (7.12) impune însă adoptarea altor măsuri vizînd reducerea coeficientului de distorsiune al tensiunii pe bare.

### 7.3. EFECTELE REGIMULUI DEFORMANT ÎN INSTALAȚIILE ELECTRICE

Circulația curenților armonici în rețele poate constitui un pericol pentru funcționarea instalațiilor electrice, în special prin formarea circuitelor rezonante derivație condensatoare-sistem. Din acest motiv, compensarea puterii reactive a consumatorilor deformanți impune o examinare atentă a condițiilor de funcționare.

În cazul schemei din figura 7.2, consumatorului deformant este indicat ca un generator de curenți armonici  $I_v$ . Acest generator alimentează circuitul derivație condensatoare-transformator și sistem.

Frecvența de rezonanță a acestui circuit ( $X_{Lv} = X_{Cv}$  și  $X_c = X_s + X_T$ ) este

$$f_v = v_r \cdot 50 = \sqrt{\frac{X_c}{X_s + X_T}} \cdot 50 = \sqrt{\frac{S_c}{Q_c}} \cdot 50 \text{ [Hz]}, \quad (7.13)$$

în care  $S_c$  este puterea de scurtcircuit la barele condensatoarelor. Impedanța internă  $Z_{iv}$  a generatorului s-a considerat mult mai mare decît reactanța echivalentă a circuitului derivație.

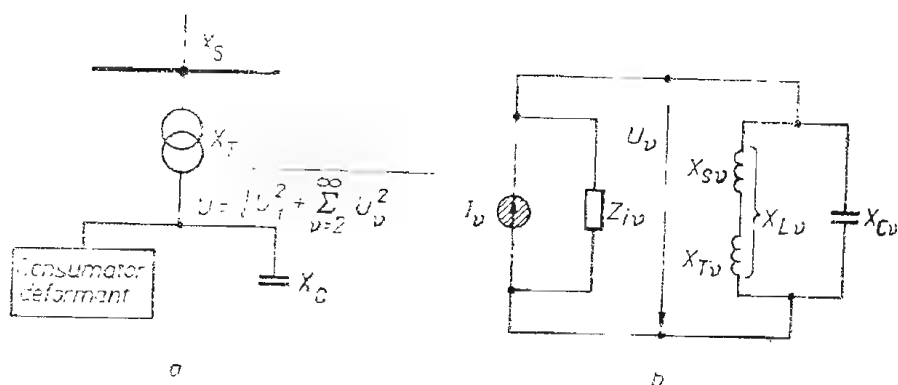


Fig. 7.2. Alimentarea unui consumator deformant cu compensarea puterii reactive printr-o baterie de condensatoare derivație:

a — schema de principiu; b — schema echivalentă a impedanțelor armonice.

Deoarece în practică nu se constată curenți armonici de valoare importantă peste armonica de ordinul 13, se consideră că bateria de condensatoare instalată nu prezintă pericol de rezonanță dacă puterea ei satisface relația

$$Q_c < 0,005 S_{sc} \quad (7.14)$$

rezultată din relația (7.13) prin înlocuirea  $v = 13$ .

În cazul circuitelor complexe, cu mai mulți consumatori deformanți și baterii de condensatoare legate în paralel la unul sau mai multe sisteme de bare, apar mai multe frecvențe de rezonanță.

În majoritatea cazurilor, condiția (7.14) nu este îndeplinită și deci conectarea directă a condensatoarelor la aceleași bare cu receptoare deformante nu este posibilă fără a se lua măsurile suplimentare indicate în paragraful 7.4.

## 7.4. MIJLOACE PENTRU REDUCEREA REGIMULUI DEFORMANT

În scopul reducerii efectelor regimului deformant se utilizează circuite filtrante, refulante sau absorbante.

Filtrul refulant (fig. 7.3) este realizat prin legarea în serie cu bateria de condensatoare a unei bobine de reactanță  $X_p$  în aer (bobină de dezacordare). Valoarea acestei bobine se alege astfel încît reactanța circuitului serie  $X_c - X_p$  să aibă caracter capacitiv pentru frecvența fundamentală, iar la frecvențe superioare să aibă caracter inductiv. În acest mod se evită rezonanța între condensatoare și rețea la armonicile superioare, iar curenții armonici sînt refuțați în rețea.

Pentru ca filtrul refulant să îndeplinească acest deziderat este necesar ca

$$X_{pv} - X_{cv} \geq X_{cv} \quad (7.15)$$

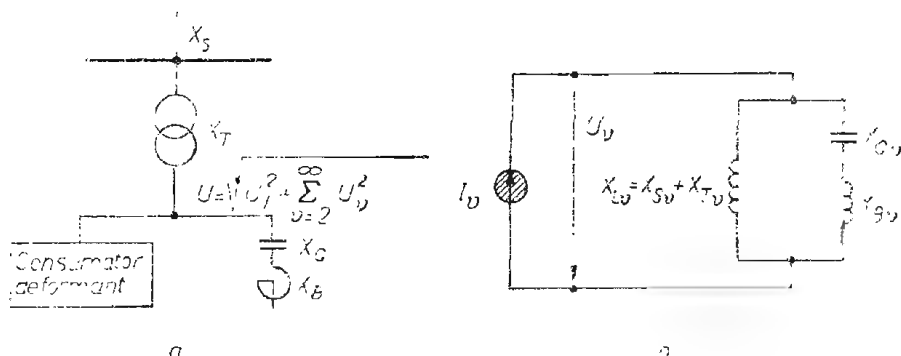


Fig. 7.3. Filtre refulante:  
a - schema de principiu; b - schema echivalentă a impedanțelor armonice

sau

$$X_B \geq \frac{2}{v_m^2} X_C, \quad (7.16)$$

în care  $X_B$ ,  $X_C$  sînt reactanțele corespunzătoare fundamentalei, iar  $v_m$  - ordinul minim al armonicilor superioare indezirabile.

Deoarece tensiunea la bornele condensatoarelor crește cu circa  $p\%$  dacă bobina de dezacordare are reactanța procentuală  $p\%$ , pentru dimensionare se indică ca

$$X_B \geq 1,5 \frac{X_C}{v_m^2}. \quad (7.17)$$

Utilizarea bobinelor de dezacordare este indicată pentru protecția instalațiilor existente de condensatoare, care nu prezintă posibilități de extindere. În cazul instalațiilor noi, aceste circuite nu sînt recomandate deoarece încarcă rețeaua cu curenții armonici refulați.

Mijlocul cel mai eficace de reducere a regimului deformant îl constituie filtrele absorbante. Aceste filtre (fig. 7.4) sînt realizate din condensatoare  $X_C$  conectate în serie cu bobine de reactanță în aer  $X_L$ , calculate astfel încît să prezinte rezonanță serie pentru armonicile superioare prezente la barele consumatorului. În acest mod filtrul va absorbi în întregime curentul armonic pe care a fost acordat și în proporție mai redusă și curenți armonici avînd frecvențe apropiate. Bobinele au și rolul de a reduce curenții de conectare ai condensatoarelor.

Filtrele absorbante, conectate în general la barele de medie tensiune ale instalației întreprinderii, se dimensionează ținînd cont de o serie de factori;

- reducerea factorilor de distorsiune în punctul de racord;
- asigurarea puterii reactive capacitive la frecvența fundamentală, necesară compensării puterii reactive a consumatorului;
- verificarea solicitărilor maxim admise ale condensatoarelor și bobinelor componente;
- evitarea posibilităților de rezonanță ale ansamblului circuitelor filtrante cu sistemul energetic, sub influența unor armonici superioare produse de alți consumatori;
- costul optimal al instalației de reducere a regimului deformant.

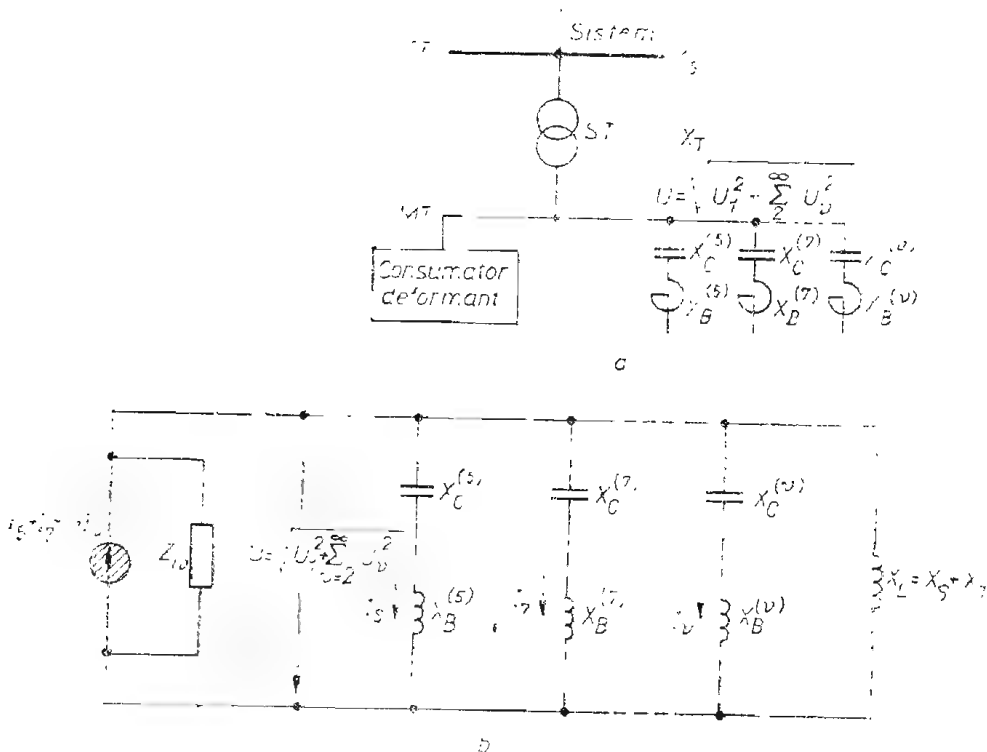


Fig. 7.4. Filtre absorbante:  
a — schema de principiu; b — schema echivalentă a impedanțelor armonice.

## 7.5. FILTRE ABSORBANTE

### 7.5.1. CARACTERISTICILE FILTRELOR

Principalele caracteristici pe faza unui filtru de armonică  $v$  a curentului — figura 7.4, b (cu ipoteza simplificatoare că filtrul absoarbe numai fundamentală curentului și armonică  $I_v$ ) sînt:

— reactanța bobinei (la rezonanță  $X_{bv} = X_{cv}$ )

$$X_B^{(v)} = \frac{X_C^{(v)}}{v^2}, \quad (7.18)$$

$X_L^{(v)} = \omega_1 L_B^{(v)}$  și  $X_C^{(v)} = \frac{1}{\omega_1 C^{(v)}}$ , fiind reactanțele corespunzătoare fundamentalei, avînd pulsația  $\omega_1 = 2\pi 50 \text{ s}^{-1}$ ;

— curentul absorbit

$$I^{(v)} = \sqrt{I_1^{(v)2} + I_v^2}, \quad (7.19)$$

avînd fundamentală

$$I_1^{(v)} = \frac{U_1}{X_c^{(v)}} a, \quad (7.20)$$

în care  $a$  este coeficientul de supratensiune

$$a = \frac{v^2}{v^2 - 1}, \quad (7.21)$$

cu valori cuprinse între 1,006 ( $v = 13$ ) și 1,04 ( $v = 5$ );  
— tensiunea la bornele condensatorului

$$U_c^{(v)} = \sqrt{U_{c1}^{(v)2} + U_{cv}^2}, \quad (7.22)$$

avînd fundamentală

$$U_{c1}^{(v)} = a U_1 \quad (7.23)$$

și armonică

$$U_{cv} = \frac{X_c^{(v)}}{v} I_v; \quad (7.24)$$

deoarece supratensiunea la bornele condensatoarelor nu poate depăși 10%,  
din relația (7.23) rezultă că filtrele sînt utilizabile numai pentru armonici  
avînd ordinul  $v \geq 5$ ;

— puterea condensatoarelor

$$Q_c^{(v)} = Q_{c1}^{(v)} + Q_{cv}, \quad (7.25)$$

în care

$$Q_{c1}^{(v)} = U_{c1}^{(v)} I_1^{(v)} = \frac{U_1^2}{X_c^{(v)}} a^2 \quad (7.26)$$

este puterea corespunzătoare fundamentalei tensiunii, iar

$$Q_{cv} = U_{cv} I_v = \frac{X_c^{(v)}}{v} I_v^2 \quad (7.27)$$

este supraîncărcarea datorată armonicii  $I_v$ ;

— puterea disponibilă la bornele filtrului, pentru compensarea  $\cos \varphi$

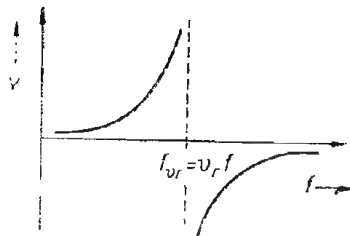
$$Q_1^{(v)} = U_1 I_1^{(v)} = \frac{U_1^2}{X_c^{(v)}} a; \quad (7.28)$$

— caracteristica de frecvență a filtrului reprezintă variația admitanței acestuia în funcție de frecvență (fig. 7.5), conform relației

$$Y_{(\omega)}^{(v)} = \frac{1}{\frac{1}{\omega C^{(v)}} - \omega L_B^{(v)}}; \quad (7.29)$$

la rezonanță  $\omega_r = v\omega_1$ ,  $Y_{(\omega)}^{(v)} = 0$ .

Fig. 7.5. Caracteristica de frecvență a admitanței filtrului absorbant.



## 7.5.2. PROIECTAREA FILTRELOR

Pe baza oscilogramelor și analizei armonice, se determină armonicile superioare ale curentului și tensiunii, coeficienții respectivi de distorsiune  $\delta_v$  și  $\delta_i$ , la diferite nivele ale schemei electrice.

Calculule efectuate conform subcapitolului 6.5 stabilesc puterea  $Q_c$  a condensatoarelor necesare compensării puterii reactive. Bateria de condensatoare se poate împărți în două : o parte repartizată în filtre absorbante, cealaltă fiind conectată direct la rețea. Este posibilă și a doua variantă rezultată din cea anterioară, prin repartizarea tuturor condensatoarelor în filtre.

Ordinul și deci numărul filtrelor necesare este dat de armonicile de curent care au pondere mai importantă, ținînd cont totodată și de posibilitățile de rezonanță în sistem (subcap. 7.3).

Caracteristicile filtrelor (par. 7.4.1) se calculează după repartizarea pe filtre a puterii reactive totale pe fundamentală  $Q_{11} \geq Q_c$  (se impune o mărire a puterii bateriei ținînd cont de suprasolicitățile ce apar la condensatoare în regim de rezonanță), conform relației

$$Q_{11} = Q_{11}^{(5)} + Q_{11}^{(7)} + \dots + Q_{11}^{(n)} + Q_{11}^{(0)}, \quad (7.30)$$

în care  $Q_{11}^{(0)}$  este puterea bateriei conectată direct la bare.

În literatura de specialitate se întîlnesc mai multe metode de repartizare a puterilor pe filtre, dintre care se remarcă :

- metoda puterii minime a condensatoarelor, utilizată pentru calculul variantei compuse din filtre și condensatoare conectate direct ;
- metoda investițiilor minime, utilizată pentru calculul variantei compuse numai din filtre.

Metoda puterii minime a condensatoarelor filtrului stabilește reactanța acestora pe fază

$$X_c^{(v)} = \frac{aU_1}{I_v} \sqrt{\frac{1}{v} \frac{Q_{c1}}{Q_{cv}}} \quad (7.31)$$

și puterea trifazată disponibilă la bornele filtrului (rel. 7.28)

$$Q_1^{(v)} = 3U_1 I_v \sqrt{\frac{1}{v} \frac{Q_{c1}}{Q_{cv}}}. \quad (7.32)$$

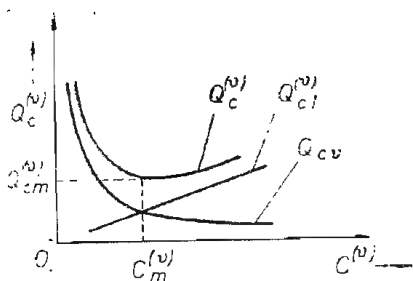


Fig. 7.6. Variația puterilor reactive ale condensatorului aparținând unui filtru absorbant de ordinul  $(v)$ .

Puterea minimă a condensatoarelor  $Q_{cm}^{(v)}$  (fig. 7.6), corespunde la  $Q_{ci}^{(v)} = Q_{cv}$ , adică valorii capacității filtrului (rel. 7.31)

$$C_m^{(v)} = \frac{I_v}{\omega_1 a C_1} \sqrt{\frac{1}{v}}. \quad (7.33)$$

Pentru  $C_m^{(v)} < C_m^{(v)}$  puterea reactivă totală ar crește, iar puterea corespunzătoare fundamentală, care contribuie la compensarea  $\cos \varphi$ , ar scădea; alegând  $C_m^{(v)} > C_m^{(v)}$  costul ar crește.

Valoarea bobinei rezultă din relația (7.18).

Metoda investițiilor minime în instalația de filtrare stabilește minimumul investiției totale  $k$ , în bobinele de reactanță  $k_L$  și condensatoare  $k_C$ .

$$k_L = k_B^{(5)} + k_B^{(7)} + \dots + k_B^{(v)} + k_C^{(5)} + k_C^{(7)} + \dots + k_C^{(v)} \quad (7.34)$$

puterea totală pe fundamentală  $Q_1$ , fiind impusă.

În acest scop se stabilesc termenii condiției de minimum, utilizând multiplicatorii lui Lagrange, sub forma

$$\frac{\partial(k_B^{(5)} + k_C^{(5)})}{\partial Q_1^{(5)}} = \frac{\partial(k_B^{(7)} + k_C^{(7)})}{\partial Q_1^{(7)}} = \dots = \frac{\partial(k_B^{(v)} + k_C^{(v)})}{\partial Q_1^{(v)}}; \quad (7.35)$$

derivatele parțiale sînt date de relațiile:

$$\frac{\partial k_L^{(v)}}{\partial Q_1^{(v)}} = -a_B a \frac{3U_1}{Q_1^{(v)}} \frac{x_v^2}{v^2 \sqrt{1+x_v^2}}, \quad (7.36)$$

$$\frac{\partial k_C^{(v)}}{\partial Q_1^{(v)}} = a_C a \frac{1 - \frac{x_v^4}{v^2}}{\sqrt{1 + x_v^2 \left(1 + \frac{1}{v^2}\right) + \frac{x_v^2}{v^2}}}. \quad (7.37)$$

în care s-a notat

$$x_v = \frac{3U_1 I_v}{Q_1^{(v)}}; \quad (7.38)$$

$a_B$ ,  $a_C$  (în lei/kvar) reprezintă costul specific de investiții al bobinelor, respectiv al condensatoarelor (fig. 6.16), iar  $a$  este dat de relația (7.21).

Dînd diferite valori puterii  $Q_1^{(v)}$  debitate de filtre pe fundamentală, deci lui  $v$ , se obțin variațiile derivatei

$$\frac{\partial(k_B^{(v)} + k_C^{(v)})}{\partial Q_1^{(v)}} = f(Q_1^{(v)}) \text{ pentru } v = 5, 7, 11, \dots$$

prin însumarea algebrică a relațiilor (7.36) și (7.37) — figura 7.6. Adunînd ordonatele corespunzătoare aceluiași derivate se determină variația



puteri totale  $Q_{11}$  (rel. 7.30 cu  $Q_1^{(0)} = 0$ ), în ipoteza satisfacerii condiției de minim al investițiilor pentru filtre. Puterile filtrelor rezultă prin urmărirea traseului indicat cu linie întreruptă în figura 7.7.

În continuare se calculează caracteristicile filtrelor astfel formate (rel. 7.28 și 7.18) și se verifică solicitările maxim admise ale condensatoarelor, precum și noile valori ale coeficienților de distorsiune, care trebuie să îndeplinească condiția (7.3).

Ultima fază a proiectării conține verificarea posibilităților de rezonanță ale filtrelor cu sistemul energetic, sub influența armonicilor produse de alți consumatori (fig. 7.4, b) în care în locul consumatorului deformat se introduce o sursă externă având admitanța  $Y_1$ , — admitanța sistemului energetic. Prezența armonicilor externe se înregistrează prin oscillografierea tensiunilor și curenților pe bare, consumatorul propriu deformat, fiind deconectat.

Caracteristica de frecvență a admitanței

$$Y(\omega) = \sum_{v=1,2,\dots} Y_v(\omega) + Y_1(\omega), \quad (7.39)$$

este reprezentată în figura 7.8. Punctele de intersecție cu abscisa determină frecvențele de rezonanță ale ansamblului rețea-filtru.

În cazul în care admitanța totală se anulează pentru o frecvență  $f = Nf_1$ , unde  $f_1 = 50$  Hz, iar  $N = 1, 2, 3 \dots$ , este necesar să se modifice parametrii  $C$  și  $L_s$  de așa manieră, încât frecvențele la care  $Y(\omega) = 0$  să se deplaseze cu  $\Delta f = \pm 10$  Hz față de frecvențele multipli întregi ai frecvenței fundamentale. Această modificare este posibilă prin:

- schimbarea capacității grupei de condensatoare legate direct la bare;
- montarea unor bobine de reactanță între sursa de armonici și filtre;
- instalarea unui filtru pe armonica respectivă.

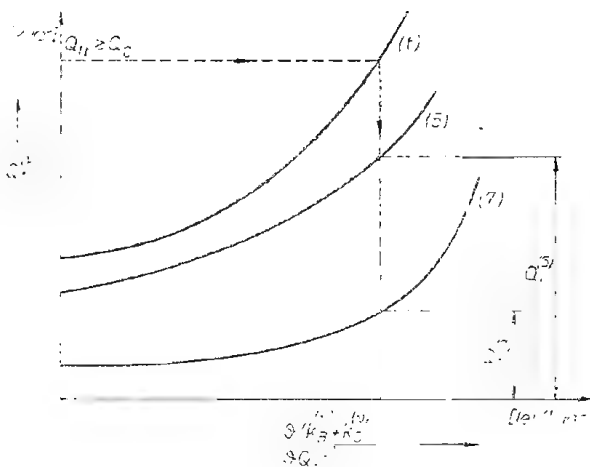


Fig. 7.7. Stabilirea grafică a puterilor filtrelor prin metoda investițiilor minime.

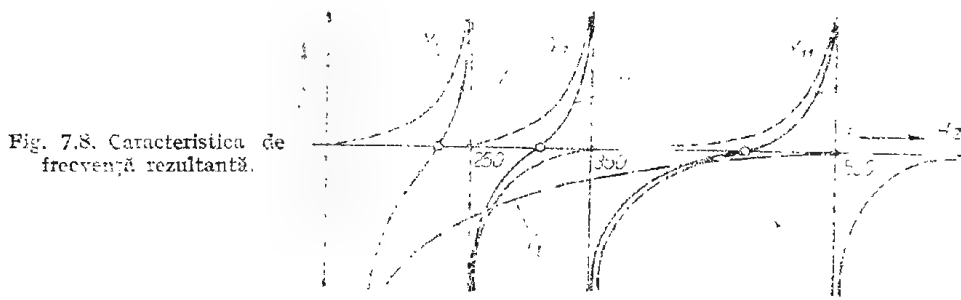


Fig. 7.8. Caracteristica de frecvență rezultantă.

### 7.5.3. ECHIPAMENTUL ELECTRIC AL FILTRELOR

Condensatoarele montate în filtrele conectate la barele de medie tensiune sînt legate în stea, nulul stelei fiind legat la pămînt.

Din considerente de izolație, bobina de reactanță a filtrului se va lega spre neutrul stelei condensatoarelor și se va proteja împotriva supratensiunilor prin descărcătoare.

În situațiile în care numai o parte a condensatoarelor este grupată în filtre, partea conectată direct la bare va servi la adaptarea puterii la necesarul reactiv variabil al consumatorului.

Acordarea filtrului pe armonica de rezonanță se va face cu ajutorul prizelor cu care sînt prevăzute bobinele de reactanță, în limitele de  $\pm 3\%$ . Se recomandă o ușoară dezacordare a filtrului, în scopul reducerii curentului armonic absorbit. Bobinele de reactanță au și rolul de a reduce curenții la conectarea condensatoarelor.

Conectarea filtrelor se va face în ordine crescătoare a armonicilor pentru a se evita fenomene de rezonanță; deconectarea se va face în ordine inversă.

Aparatele de conectare și protecție sînt identice cu cele de la bateriile de condensatoare.

Aparatele de măsură prevăzute pentru filtre sînt:

- ampermetre pentru curentul total pe cele trei faze;
- ampermetru pentru fundamentală;
- ampermetru pentru armonica  $v$  de acord;
- voltmetru cu comutator.

Circuitele secundare cuprind ansamblul circuitelor de comandă, măsură, semnalizare, blocaj, protecție, automatizare și telemecanizare, aparținând instalațiilor electrice. Ele cuprind atât echipamentele, cât și circuitele aferente acestora, în curent continuu și alternativ.

#### 8.1. MĂSURĂTORI ELECTRICE ÎN INSTALAȚIILE DE DISTRIBUȚIE

În tabelul 3.3 se indică mărimile electrice care se măsoară pe diverse circuite, precum și numărul minim și tipul aparatelor ce trebuie montate.

Măsurarea intensității curentului se face de regulă pe o singură fază; în circuitele care pot funcționa timp îndelungat cu sarcini inegale pe faze (cazul LEA de înaltă tensiune sau a liniilor de alimentare a consumatorilor cu sarcini mari monofazate) măsurarea intensității curentului se face pe toate fazele.

Tensiunea se măsoară pe fiecare fază și între faze; pentru controlul izolației, în rețelele cu neutrul izolat, se măsoară tensiunea între fiecare fază și pământ cu un grup de trei voltmetre.

În cazul în care este necesară urmărirea graficelor de sarcină pe anumite circuite, se vor prevedea wattmetre și varmetre înregistratoare.

Instrumentele electrice de măsurat, indicatoare și înregistratoare sînt de tipul *de panou* și trebuie să îndeplinească următoarele condiții.

a) Să respecte clasa de precizie impusă de scopul măsurătorii și mărimea de măsurat, astfel:

- instrumentele folosite la tablourile de comandă vor avea cel puțin clasa de precizie 2,5;

- instrumentele care se conectează prin transformatoare de măsură sau cu șunturi sau rezistențe adiționale, trebuie să aibă cel puțin clasa de precizie indicată în tabelul 8.1;

- contoarele de decontare a energiei active consumate vor fi de clasa 1, iar a energiei reactive — cel puțin de clasa 2,5;

- contoarele de control de energie activă vor fi cel puțin de clasa de precizie 2.

b) Limita superioară de măsurare a instrumentelor de măsurat și transformatoarelor de măsură va trebui să corespundă în scara standardizată

Clasele de precizie ale aparatelor de măsură, transformatoarelor și șunturilor sau rezistențelor adiționale

Clasa de precizie a instrumentului	Clasa de precizie a transformatoarelor	Clasa de precizie a șunturilor sau rezistențelor adiționale
1,0	0,5	0,5
1,5	0,5	0,5
2,5	1,0	0,5

cel puțin treptei egale cu 1,2  $V_n$ ,  $I_n$  fiind valoarea nominală a mărimii ce trebuie măsurată.

c) Transformatoarele de măsură să fie încărcate numai în limitele indicate de fabricile producătoare, pentru a nu ieși din clasa de precizie.

d) Să se respecte condițiile tehnice și climatice indicate în standarde sau în norme în locurile de instalare ale aparatelor de măsurat.

## 8.2. CIRCUITE DE COMANDĂ ȘI CONTROL

*Circuitele de comandă* sînt circuitele care servesc la acționarea voită, de la fața locului sau de la distanță, a diverselor mecanisme aparținînd aparatelor de conectare și de reglaj.

*Circuitele de control* sînt circuitele care deservesc instalațiile de protecție prin relee, automatizare, măsurare, semnalizare și blocaj.

Volumul circuitelor de mai sus depinde de modul de exploatare preconizat pentru aceste instalații: stații cu personal permanent, cu personal semipermanent sau stații fără personal local (telemecanizate sau telealarimate).

Circuitele de comandă asigură comanda manuală sau automată a întrerupătoarelor și separatoarelor, precum și informarea prin semnal diferențiat a comutărilor care au loc în urma unei comenzi voite.

Circuitele de control cuprind: circuitele de măsurare, circuitele de semnalizare și instalațiile de blocaj.

După locul unde are loc, semnalizarea poate fi:

- la aparatul deservit — semnalizare optică;
- în camerele de comandă — semnalizare optică și acustică,
- în punctele de supraveghere — semnalizare optică și acustică;
- în zonele de deservire ale instalației — semnalizare acustică.

După funcția pe care o îndeplinesc, semnalizările pot fi:

— de poziție, anclanșat (culoarea roșie) sau declanșat (culoarea verde sau alb);

— de avarie, anunțînd optic și acustic declanșarea automată de avarie a aparatelor de comutare de către sistemul de protecții prin relee; semnalul acustic (hupă) este comun pentru toată camera de comandă, iar semnalul optic este individual pentru a se putea identifica elementul avariat;

— preventive, care avertizează optic și acustic personalul de exploatare asupra apariției unor regimuri anormale de funcționare; semnalul

acustic este unic pentru toată camera de comandă, dar diferențiat de semnalul acustic de avarie; semnalul optic este individual și de obicei diferențiat funcție de natura defectului.

Instalațiile de blocaj se efectuează în circuitele elementelor de execuție și în circuitele de comandă.

Blocajele pot fi: *operative*, realizate pentru evitarea manevrelor greșite; *de siguranță*, pentru a preîntâmpina abateri de la normele NPM; *tecnologice*, pentru respectarea funcționării echipamentelor.

### 8.3. DISPOZITIVE PENTRU PROTECȚIA SELECTIVĂ RAPIDĂ A INSTALAȚIILOR DE MEDIE TENSIUNE [10]

Rețelele de distribuție uzinale de medie tensiune prezintă o tendință de extindere tot mai mare, ca o consecință a creșterii puterilor instalate și a complexității consumatorilor uzinali, care reprezintă adesea adevărate platforme industriale. În figura 8.1 sunt reprezentate două dintre cele mai simple și frecvente scheme de distribuție uzinale de medie tensiune.

Pentru asigurarea selectivității protecției la supracurenți, timpii de reglaj ai protecțiilor maxime temporizate cresc din aval spre amonte. Dacă se apreciază timpul de selectivitate pentru fiecare etaj de protecție la minimum 0,3 s, se constată că spre amonte distribuției se ajunge la timp de eșalonare destul de mari (circa 1,5 s). Acesta atrag după sine solicitări dinamice și îndeosebi termice exagerate asupra întregii instalații.

Reducerea acestor solicitări și prin aceasta mărirea duratei de viață a tuturor elementelor instalației de distribuție, determină creșterea siguranței în alimentarea consumatorilor respectivi.

În acest scop se poate utiliza un dispozitiv logic, de preferință cu elemente statice (viteză mare de lucru), care utilizând informațiile furnizate de rețele primare — maximele și direcționale să comande declanșarea întreruptoarelor apropiate de locul de defect. Ecuațiile logice în baza cărora se elaborează deciziile dispozitivului de protecție selectivă rapidă (DPSR) sînt fundamentate pe următoarele principii:

- supracurenții circulă prin diferitele laturi ale rețelei conform cupiajului stabilit într-o anumită situație și solicită o parte din rețele maxime direcționale;

- curenții de scurtcircuit converg spre punctul de defect, ceea ce înseamnă că solicitarea rețelor poate conduce sistemul logic la definirea punctului din rețea unde a avut loc scurtcircuitul;

- cînd localizarea defectului este realizată, DPSR generează semnale de declanșare numai pentru acele întreruptoare, care încadrează defectul.

În continuare se prezintă sinteza unui DPSR pentru rețeaua cu două linii principale și bare

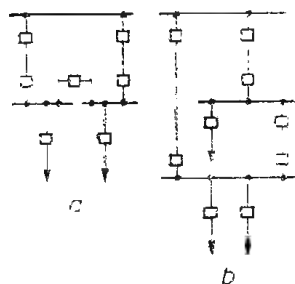


Fig. 8.1. Scheme de distribuție uzinale de medie tensiune:

a — bara linie principale și bare secundare; b — bara linie principale și bare secundare.

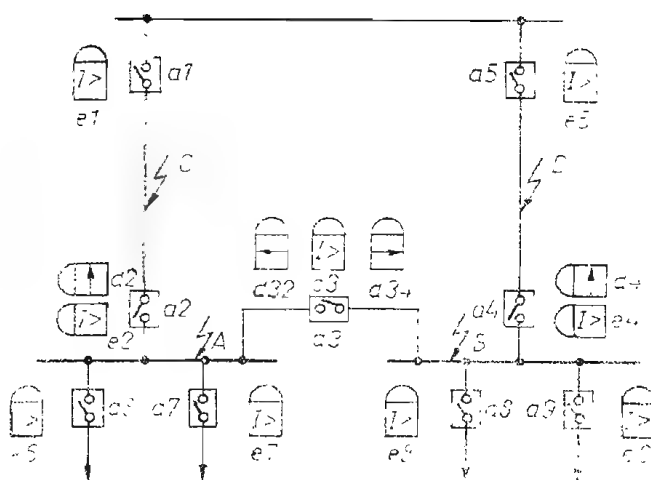


Fig. 8.2. Schema monofilară a rețelei de distribuție uzinale, cu indicarea releelor de protecție și a punctelor de scurtcircuit considerate.

simple sectionate (fig. 8.1, a). În figura 8.2 este reprezentată schema electrică monofilară a rețelei indicându-se întreruptoarele și releele primare de protecție (maximale de curent și direcționale de putere). Sint indicate prin simbolul caracteristic punctele posibile de scurtcircuit; acestea sint notate prin majusculile A, B, C și D. Pentru simplificare, s-au reprezentat numai cîte două plecări de pe fiecare secțiune de bare simple.

În continuare se deduc ecuațiile logice ale comenzilor de declanșare pentru întreruptoarele automate din schemă, analizînd corelațiile dintre locul de defect, informațiile furnizate de releele primare și măsurile de izolare ale locului de defect. Contactele ND ale releelor direcționale se închid pentru circulația curenților în sensul săgeților figurate pe figura 8.2.

Astfel, pentru un defect în punctul A, luînd în considerare cele două situații de distribuție posibile, se stabilesc următoarele.

1. Întreruptoarele a1 și a2 sînt închise iar a3 — închis sau deschis; curentul de scurtcircuit trece prin a2 și nu trece prin a3, a6 și a7. Releul maximal e2 se excită, în timp ce releele maxinale e3, e6 și e7 nu sînt excitate. Releul direcțional d2 nu este acționat, iar starea celorlalte rele direcționale nu contează din moment ce e3 = 0 (neacționat). Expresia logică a acestei situații este (pentru ușurarea înțelegerii, numărul de ordine al echipamentului se scrie în relații la indice)

$$f(A_1) = e_2 \bar{e}_3 \bar{e}_6 \bar{d}_2. \quad (8.1)$$

2. Întreruptorul a2 este deschis, alimentarea realizîndu-se prin întreruptorul de cuplă a3. În acest caz releele e3 și d32 vor fi acționate, iar releele e2, e6, e7 și d2 nu vor fi acționate. Transpunerea logică a situației este

$$f(A_2) = \bar{e}_2 e_3 \bar{e}_6 \bar{e}_7 d_{32}. \quad (8.2)$$

3. Sint închise întreruptoarele a2, a3 și a4, alimentarea punctului de scurtcircuit realizîndu-se pe două căi. Analizînd starea releelor primare, se poate transcrie situația în limbajul algebrei binare:

$$f(A_3) = e_2 e_3 \bar{e}_6 \bar{e}_7 d_2 \bar{d}_{32}. \quad (8.3)$$

Defectul în punctul  $A$  poate avea loc în oricare din situațiile analizate. De aceea, funcțiile parțiale definite prin relațiile (8.1) ... (8.3) trebuie reuinite prin operatorul SAU, pentru a avea ecuația logică definind un scurtcircuit în punctul  $A$ :

$$f(A) = f(A_1) + f(A_2) + f(A_3), \quad (8.4)$$

în care înlocuind expresiile funcțiilor parțiale se obține

$$f(A) = (\bar{e}_2 e_3 \bar{d}_2 + \bar{e}_2 e_3 d_{32} + e_2 e_3 d_2 \bar{d}_{32}) \bar{e}_6 \bar{e}_7. \quad (8.5)$$

Pentru un defect în punctul  $B$  (simetric punctului  $A$ ), ecuația logică definind scurtcircuitul în acest punct al rețelei se deduce similar:

$$f(B) = (\bar{e}_3 e_4 \bar{d}_4 + \bar{e}_3 e_4 d_{34} + e_3 e_4 d_3 \bar{d}_4) \bar{e}_8 \bar{e}_9. \quad (8.6)$$

Un defect în punctul  $C$  se manifestă prin aceea că curentul de scurtcircuit trece prin  $a1$  și nu-l parcurge pe  $a2$  sau invers trece prin  $a2$  fără a ieși prin  $a1$ . Rezultă expresia

$$f(C) = e_1 \bar{e}_2 + e_2 d_2. \quad (8.7)$$

Defectul în punctul  $D$  este simetric cu cel în punctul  $C$ , deci se poate scrie direct

$$f(D) = \bar{e}_4 e_5 + e_4 d_4. \quad (8.8)$$

După stabilirea expresiilor logice care permit dispozitivului de protecție DPSR să localizeze rapid defectul din rețea, urmează a se determina funcțiile de declanșare ale întreruptoarelor, care au un rol de a izola defectul din rețea. Aceste funcții vor fi numite funcții fundamentale de declanșare ale întreruptoarelor, deoarece acestea trebuie să se realizeze în prima etapă de eliminare a defectului. În tabelul 8.2 sînt indicate întreruptoarele care trebuie să acționeze în funcție de locul defectului.

Tabelul 8.2

Correspondența dintre locul de defect și întreruptoarele care declanșează în etapa fundamentală

Locul de defect	Funcția logică	Întreruptoarele care trebuie să declanșeze în etapa fundamentală
$A$	$f(A)$	$a_2$ și $a_3$
$B$	$f(B)$	$a_3$ și $a_4$
$C$	$f(C)$	$a_1$ și $a_2$
$D$	$f(D)$	$a_4$ și $a_5$

În baza corespondențelor stabilite în tabelul 8.2, rezultă pentru funcțiile fundamentale de declanșare următoarele expresii

$$\begin{aligned} f(a_1) &= f(C); \\ f(a_2) &= f(A) + f(C); \\ f(a_3) &= f(A) + f(B); \\ f(a_4) &= f(B) + f(D); \\ f(a_5) &= f(D). \end{aligned} \quad (8.9)$$

Este evident că funcțiile fundamentale de declanșare ale întreruptoarelor liniilor radiale (fiderilor) sînt dependente numai de variabilele reprezentate de releele maxinale corespunzătoare:

$$f(a_6) = e_6; \quad f(a_7) = e_7; \quad f(a_8) = e_8; \quad f(a_9) = e_9. \quad (8.10)$$

Pentru cazul în care o defecțiune oarecare împiedică executarea declanșării fundamentale, este necesar să se asigure o rezervă de declanșare prin treptele din amonte. Aceasta se realizează prin introducerea unor funcții de declanșare de rezervă în baza principiului următor: un întreruptor declanșează ca rezervă a unui alt întreruptor, dacă acesta din urmă primind o comandă de declanșare nu a executat-o în intervalul de timp  $\Delta t$ . Întîrzierea  $\Delta t$  trebuie astfel aleasă, încît să depășească cu cîteva milisecunde suma constantelor de timp proprii releelor de ieșire a DPSR și întreruptoarelor.

Funcțiile de declanșare de rezervă se pot scrie sub forma generală

$$f'(a_i) = a_j f(a_j, \Delta t), \quad (8.11)$$

în care  $a_i$  este întreruptorul din amonte de întreruptorul  $a_j$ .

În tabelul 8.3 este indicată corespondența întreruptoarelor care trebuie să declanșeze ca rezervă a altora, pentru rețeaua din figura 8.2.

Tabelul 8.3

Corespondența întreruptoarelor care declanșează ca rezervă

Declanșare fundamentală	Declanșare de rezervă
$a_2$	$a_1$ și $a_3$
$a_3$	$a_2$ și $a_4$
$a_4$	$a_3$ și $a_5$
$a_6$ sau $a_7$	$a_1$ și $a_2$
$a_8$ sau $a_9$	$a_3$ și $a_4$

Conform scrierii preconizate prin relația (8.11), funcțiile de declanșare de rezervă sînt:

$$\begin{aligned} f'(a_1) &= a_2 f(\Delta t); \\ f'(a_2) &= a_3 f(a_3, \Delta t) + a_6 f(a_6, \Delta t) + a_7 f(a_7, \Delta t); \\ f'(a_3) &= a_2 f(a_2, \Delta t) + a_4 f(a_4, \Delta t) + a_6 f(a_6, \Delta t) + \\ &\quad + a_7 f(a_7, \Delta t) + a_8 f(a_8, \Delta t) + a_9 f(a_9, \Delta t); \\ f'(a_4) &= a_3 f(a_3, \Delta t) + a_8 f(a_8, \Delta t) + a_9 f(a_9, \Delta t); \\ f'(a_5) &= a_4 f(a_4, \Delta t). \end{aligned} \quad (8.12)$$

Funcțiile totale de declanșare rețese logic condițiile de declanșare fundamentale și de rezervă

$$F(a_i) = f(a_i) + f'(a_i), \quad (8.13)$$

pentru restul întreruptoarelor scriindu-se similar.



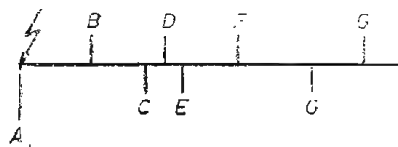


Fig. 8.3. Succesiunea și ordinul de mărime pentru constantele de timp care intervin într-o secvență de declanșare de protecție.

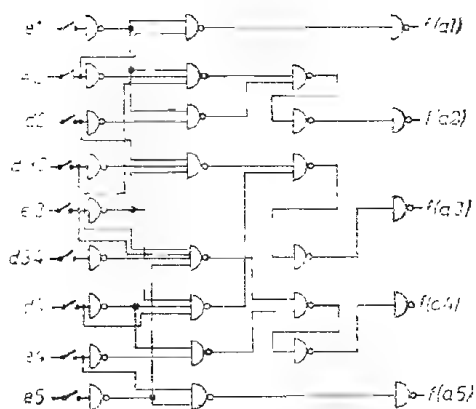


Fig. 8.4. Schema logică a dispozitivului de protecție selectivă rapidă (funcțiile de declanșare fundamentale) realizat cu elemente NCI.

Pentru cazul defectării complete a dispozitivului logic (dispariția tensiunii sale de alimentare) se poate prevedea o ultimă rezervă de declanșare. Aceasta poate fi constituită din protecția maximală temporizată instalată în substația principală din amonte distribuției.

Funcționarea sistemului necesită crearea funcțiilor de localizare a defectelor  $f(A), \dots, f(D)$ , sistemul de protecție poate fi completat cu semnalizarea locurilor de defect.

Prin utilizarea DPSR este eliminat dezavantajul sistemului temporizării crescătoare spre surse, constând în durata mai mare a defectelor mai apropiate de surse (cele mai solicitante). Chiar dacă există mai multe etaje de distribuție pe o linie, DPSR izolează locul de defect într-un timp de circa 150 ms la o declanșare fundamentală și de 250 ms la o declanșare de rezervă, pentru oricare dintre etaje.

În figura 8.3 se prezintă succesiunea și ordinul de mărime pentru constantele de timp care intervin într-o secvență. Semnificațiile și valorile segmentelor reprezentate sînt:

$AB$	— timpul propriu al releelor de protecție	20 ... 50 ms;
$BC$	— timpul necesar eliminării hazardului	30 ms;
$CD$	— timpul de localizare a defectelor	1 ms;
$DE$	— timpul de elaborare a comenzilor de declanșare	1 ms;
$EF$	— constanta de timp a releelor intermediare	18 ... 28 ms;
$FG$	— timpul propriu de deschidere a întreruptoarelor	50 ms;
$AG$	— timpul total pentru declanșarea fundamentală	210 ... 160 ms;
$GG'$	— temporizarea etajului de declanșare de rezervă	90 ms;
$AG'$	— timpul total pentru declanșarea de rezervă	210 ... 250 ms;

Pentru realizarea dispozitivului de protecție selectivă rapidă se stabilește mai întâi tipul elementelor componente (module USILOG, circuite integrate etc.) și apoi se transcriu ecuațiile logice (8.12) și (8.13) în operatorii specifici (NICI, ȘI-NU, ȘI-SAU-NU).

Schema logică a blocului realizînd declanșarea fundamentală, realizat cu elementele logice de tipul NICI, este prezentată în figura 8.4.

## 8.4. INSTALAȚII PENTRU TELECOMUNICAȚII UZINALE

Desfășurarea normală a activității în întreprinderile industriale pune existența unor instalații electrice speciale care să asigure comunicarea în interiorul incintelor și în afara lor, difuzarea programelor locale sau centrale de radio și televiziune, urmărirea orei exacte etc. Instalațiile de telecomunicații din clădirile industriale pot fi de telefonie, dispecerat, interfon, telegraf sau telex, radio, căutarea persoanelor, ceasoficare și semnalizarea incendiilor.

La proiectarea instalațiilor electrice, se va ține seama că încăperile destinate echipamentelor de telecomunicații sînt încăperi periculoase din punct de vedere al pericolului de electrocutare, iar din punct de vedere al pericolului de incendiu, se încadrează în categoria *E*, cu excepția încăperilor pentru bateriile de acumulate care pot fi de categoria *A*, dacă nu se asigură o ventilare corespunzătoare.

În încăperile în care sînt montate echipamentele de telecomunicații se vor prevedea minim cîte două prize de 24 V pentru lămpi portative și 1—2 prize bipolare cu contact de protecție pentru unelte portabile alimentate la tensiunea de 220 V. Iluminatul încăperilor se va face cu lămpi fluorescente, asigurîndu-se un nivel minim de iluminare de 220 lx.

Bateriile de acumulate se pot instala în dulapuri tipizate amplasate pe coridoare, holuri etc. asigurîndu-se posibilități de aerisire naturală a dulapului. Dacă se prevăd săli speciale pentru acumulate, acestea se vor utiliza în comun pentru bateriile mai multor categorii de instalații, inclusiv pentru bateriile iluminatului de siguranță. Sălile se vor amplasa în aceeași clădire, cît mai aproape de spațiile destinate echipamentului pe care îl alimentează și vor avea ventilație naturală, realizată printr-un coș de zidărie sau elemente prefabricate cu o secțiune minimă de 0,12 m<sup>2</sup>. Se interzice instalarea bateriilor de acumulate în subsoluri inundabile sau sub planșee străbătute de conducte care transportă fluide sau gaze sub presiune.

Instalațiile interioare pentru telecomunicații uzinale se realizează de obicei în execuție îngropată. Montajul aparent se admite numai în următoarele cazuri:

- în construcțiile care nu permit dăltuirea și spargerea;
- în hale sau încăperi în care și instalațiile electrice sînt executate aparent;
- în cazul unor instalații provizorii.

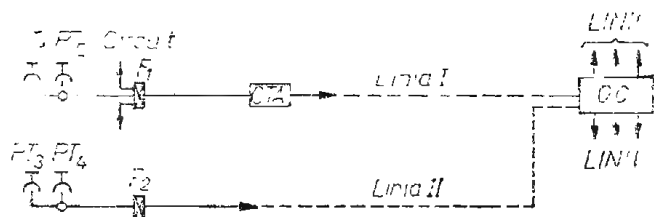
Instalațiile se realizează cu cabluri și conducte izolate din cupru montate în tuburi de protecție. Circuitele pentru instalațiile de telefonie, dispecer, interfon și ceasuri electrice se pot grupa în același tub sau cablu, fiind indicat a se utiliza trasee comune.

Între instalațiile de curenți slabi și instalațiile electrice interioare sau conducte calde, se va păstra o distanță minimă de 25, respectiv 12 cm.

### 8.4.1. INSTALAȚII DE TELEFONIE

Instalația telefonică permite realizarea unor legături de comunicare rapide și sigure, atît în interiorul întreprinderilor, cît și în afara lor. În mod normal, întreprinderile sînt echipate cu centrale telefonice automat

Fig. 8.5. Schema de principiu a unei instalații de telefonie.



(CTA), care se caracterizează prin durată și stabilitate mare în funcționare, cheltuieli de investiții și exploatare reduse, dimensiuni mici, consum redus, funcționare rapidă și posibilități de extindere. Numărul de posturi este variabil, avînd în vedere că se vor prevedea: cel puțin un post în birourile obișnuite; 2 - 3 posturi în birourile destinate personalului de conducere și secretariatelor; cîte posturi sînt necesare în birourile unde se desfășoară o activitate ce solicită legături telefonice multiple. În spațiile de producție, posturile se vor instala în spațiile rezervate personalului de conducere a proceselor tehnologice, eventual în cabine izolate fonic, dacă condițiile o cer.

Pentru instalarea unei centrale telefonice se prevăd de obicei trei încăperi:

- camera centralei telefonice, aflată în general la parter, pentru a ușura accesul cablurilor din exterior;
- camera operatorii, adiacentă primei încăperi, pentru asigurarea legăturii verbale între operatoare și personalul de întreținere;
- camera bateriilor de acumulare (24—60 V), amplasată cît mai aproape de primele două și prevăzută cu ventilație naturală organizată sau cu ventilație mecanică separată de alte sisteme de ventilație; bateriile de acumulare vor avea o autonomie de funcționare de 6 ÷ 10 h pentru centrala telefonică și 10 ÷ 12 h pentru centrala de avertizare de incendiu.

Schema de principiu a unei instalații telefonice uzinale este dată în figura 8.5. Posturile telefonice  $PT_1$  și  $PT_2$  sînt conectate la centrala automată a întreprinderii (CTA) prin intermediul firii  $F_1$ .

CTA este legată prin cablu exterior subteran, la centrala telefonică de oraș sau cartier (OC). Posturile telefonice  $PT_3$  și  $PT_4$  sînt conectate direct la OC prin intermediul firii  $F_2$ .

Racordarea posturilor telefonice la rețea se face prin circuite individuale în tub comun, utilizîndu-se o schemă de distribuție radială.

#### 8.4.2. INSTALAȚII DE TELEFONIE TEHNOLOGICĂ (DISPECER)

Instalațiile de dispecer asigură legături operative, independente, necesare procesului tehnologic, între organele de conducere tehnică și de exploatare în incinta întreprinderilor, cît și cu forurile de conducere tehnică din exterior, eventual cu puncte de dispecer din alte unități. Echipamentele folosite pot fi cu comutație manuală, semiautomată sau automată, alimentarea diverselor posturi fiind asigurată de baterii locale sau de la o baterie centrală.

Modul de organizare al rețelei de telefonie tehnologică este impus de numărul posturilor care trebuie instalate și de sistemul de centralizare a conducerii procesului tehnologic.

Centralele de dispecer au capacități de  $20 \div 60$  linii și sînt de două tipuri: de masă și de pupitru. Centralele mici tip pupitru (fără rame de relee și amplificatoare) nu necesită un spațiu anume, montîndu-se pe masa de lucru a dispecerului. Centralele cu rame de relee și amplificatoare se amplasează într-o încăpere separată, cit mai aproape de camera dispecerului, unde se va instala pupitrul de comandă sau în aceeași încăpere cu dispecerul, prevăzîndu-se în acest scop un spațiu de cca.  $6 \text{ m}^2$ .

Alimentarea centralei se face de la o baterie de acumulatori (24—60 V) amplasată în aceeași încăpere cu bateria centralei telefonice sau într-o încăpere destinată special acestui scop.

### 8.4.3. INSTALAȚII DE INTERFON

Interfonul este compus dintr-un post principal și mai multe posturi secundare și se instalează pentru comunicări operative, dispoziții, conferințe și o mai bună coordonare a serviciului de dispecer. Instalația permite ca de la fiecare aparat să se efectueze convorbiri cu alt abonat, cu o parte sau cu toți abonații conectați la aparatul respectiv, fără intermediul postului principal.

Fiecare post principal sau secundar este prevăzut cu un aparat de masă echipat cu microfon dinamic și dispozitive de linii cu capacitatea de  $1 \div 20$  linii, o cutie de amplificare și conexiuni și un difuzor dinamic. Alimentarea se face de la rețeaua de 220 V prin intermediul unor redresoare la care sînt legate 5—6 posturi de vorbire.

Redresorul de alimentare nu necesită o încăpere separată, el putînd fi montat pe perete în orice încăpere uscată, ferită de praf, umezeală și trepidații. Rețeaua folosită poate fi construită în sistem liniar, stea sau combinat, în funcție de amplasarea posturilor.

### 8.4.4. INSTALAȚIE PENTRU CĂUTAREA ȘI CHEMAREA PERSOANELOR

Instalația asigură căutarea și chemarea operativă a persoanelor cu responsabilitate în procesul de conducere tehnică și de exploatare al întreprinderii și care se află în încăperi tehnologice cu mult zgomot sau în hale de mari dimensiuni. Ea se compune dintr-o centrală de căutare și tablouri cu corpuri de semnalizare luminoasă și se utilizează în legătură cu centrala telefonică automată, putînd fi pusă în funcțiune de la orice post telefonic. Fiecărei persoane sau grupă de persoane căutată îi corespunde o anumită combinație de semnale luminoase (cîre, litere sau culori, din codul întocmit în acest scop.

## 8.4.5. INSTALAȚII RADIO

a) *Instalație de radioficare.* Instalația are drept scop transmiterea dispozițiilor și comunicărilor legate de conducerea tehnică și exploatarea întreprinderilor, a programelor cultural-educative proprii sau ale programelor radio, precum și căutarea persoanelor cu diferite responsabilități.

Echipamentul stațiilor de amplificare cu puteri mai mari de 150 W se amplasează într-o încăpere special destinată, cu o suprafață de  $12 \div 20 \text{ m}^2$  și o înălțime de 2,5 m. În cameră se va păstra o temperatură constantă de  $+20^\circ\text{C}$ , iar iluminatul va fi cu surse incandescente. Pentru stații cu puteri sub 150 W se va asigura o încăpere cu o suprafață de  $9 \text{ m}^2$ , iar dacă aceasta nu este posibil, ele se vor amplasa în încăperi liniștite cu alte destinații.

Distribuția interioară se face după scheme radiale sau arborescente, cu circuite bifilare alimentând 20 ... 30 difuzoare pe zone distincte (figura 8.6).

Circuitele de radioficare se vor instala numai în tuburi sau cabluri separate, montate la o distanță minimă de 20 cm față de alte circuite de curenți slabi. În cazuri justificate, instalațiile montate în tuburi legate la pământ se pot monta la:

- 5 cm, când lungimea de paralelism este mai mică de 50 m;
- 3 cm, când lungimea este sub 30 m;
- 2 cm, pentru o distanță sub 10 m.

Dimensionarea circuitelor de radioficare se va face astfel încât atenuarea la ultimul difuzor să fie de maxim 4 dB.

b) *Instalație de radiotelefonie.* Acest tip de instalație constă în utilizarea radiotelefoanelor și constituie mijlocul cel mai eficient de mărire a operativității în transmiterea comunicațiilor pe șantier, întreprinderi forestiere, precum și în întreprinderile având o mare suprafață sau hale de mari dimensiuni cu degajări de praf sau fum. Se utilizează următoarele tipuri de stații:

— stații fixe, alimentate de la rețeaua de curent alternativ și de greutate care nu depășească 50 kg;

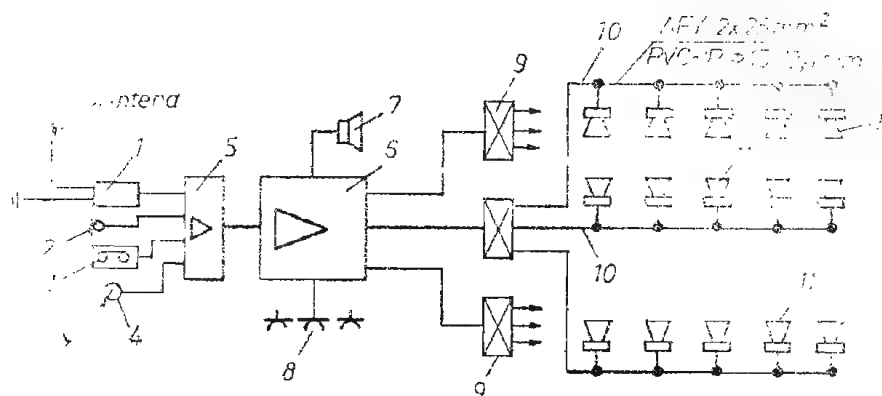


Fig. 8.6. Schema de principiu a unei instalații de radioficare:

1 - radioreceptor; 2 - microfon; 3 - magnetofon; 4 - pick-up; 5 - preamplificator de mixaj; 6 - amplificator de putere; 7 - difuzor de control; 8 - prize de alimentare de 220 V c.a.; 9 - firiduri de concentrare; 10 - linii de distribuție bifilare; 11 - difuzoare.

— stații mobile, alimentate în curent continuu și avînd o greutate de  $5 \div 20$  kg — se instalează pe diferite vehicule sau instalații;

— stații portabile cu o greutate de maxim 2 kg.

Distanța maximă de convorbire între două stații depinde de tipul stațiilor, amplasamentul lor și configurația terenului. Ca urmare se vor putea stabili legături la  $50 \div 70$  km între două stații fixe,  $15 \div 40$  între o stație fixă și una mobilă și  $0,5 \div 5$  km între stații portabile.

Serviciile de radiotelefonie mobilă lucrează pe frecvențe de  $25 \div 470$  MHz și utilizează trei tipuri de legături radio:

— sistemul *simplex* permite stabilirea unei comunicații radio între două stații lucrînd pe aceeași frecvență și este sistemul cel mai utilizat în radiotelefonie;

— sistemul *duplex* cuprinde două stații care lucrează pe canale separate și se utilizează în cazul în care rețeaua de radiotelefonie trebuie conectată la rețeaua telefonică;

— sistemul *semiduplex* utilizează o frecvență pentru emisie și alta pentru recepție, evitîndu-se astfel interferențele în zonele cu multe radio-telefoane.

#### 8.4.6. INSTALAȚII DE CEASOFICARE

Instalațiile de ceasuri electrice au rolul de a indica ora exactă în cadrul întreprinderilor și pot asigura și pontajul muncitorilor cu ajutorul ceasurilor de pontaj.

Ele se realizează după scheme radiale sau arborescente, ceasurile electrice putînd fi legate în serie sau paralel, în funcție de tipul centralelor folosite.

O instalație (fig. 8.7) se compune dintr-un ceas principal 1, care transmite prin intermediul centralei 2, impulsuri electrice de comandă la ceasurile secundare 3. Legătura între ceasuri este asigurată de rețeaua de ceasoficare 4. Centrala de ceasuri se alimentează de la o sursă de curent continuu, care poate fi bateria de acumulatori 5 sau redresorul 6. Alimentarea permanentă cu energie electrică este asigurată de sistemul de cîntare automată 7.

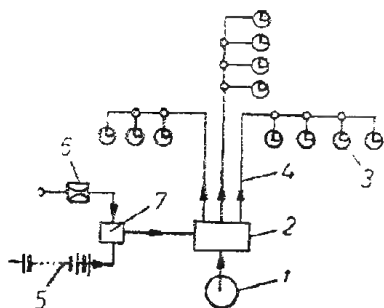


Fig. 8.7. Schema de principiu a unei instalații de ceasoficare.

Capacitatea instalației de ceasuri se stabilește în funcție de numărul locurilor de muncă cu deservire permanentă care necesită cunoașterea orei exacte, numărul locurilor de trecere frecventă a personalului, numărul locurilor de interes comun din întreprindere și numărul de muncitori pe schimb (pentru ceasuri de pontaj).

Centrala de ceasuri electrice se poate instala în camera operatorii centralei telefonice, în camera stației de radioficare sau într-o încăpere separată cu suprafața de  $4,5 \div 10$  m<sup>2</sup>. Ceasurile secundare se montează în interior sau în exterior pe

suport proprii sau pe elemente de construcții, iar rețeaua de ceasoficare se execută cu 2 conductoare Fy 1,5 montat în tuburi de protecție PVC — IP 16/13,4.

#### 8.4.7. INSTALAȚII PENTRU SEMNALIZAREA INCENDIILOR

Instalațiile pentru semnalizarea incendiilor se prevăd în următoarele cazuri:

— în întreprinderi industriale, în care secțiile de categoria A, B și C cu pericol de incendiu au caracter predominant ca număr, suprafață sau importanță, dacă suma ariei construite a clădirilor din incinta industrială (inclusiv clădiri social administrative și depozite închise sau deschise sub șopronane) este mai mare de 20 000 m<sup>2</sup>;

— în clădiri industriale blindate de categoriile A, B și C cu pericol de incendiu, indiferent de aria construită;

— în clădiri industriale cu înălțimea mai mare de 45 m, indiferent de aria construită, în care se află aparate sau utilaje de valoare;

— în spațiile de parcare sau garare care adăpostesc mai mult de 50 autovehicule.

În întreprinderile industriale se utilizează în general, trei sisteme de avertizare a incendiilor: sistemul manual, sistemul automat de temperatură, sistemul automat de fum și flăcără.

Echipamentul unei instalații electrice de avertizare a incendiilor se compune dintr-o centrală de avertizare, detectoare (avertizoare) manuale sau automate, aparate de alarmă (acustice și optice), surse de curent etc. (fig. 8.8).

Centralele de avertizare pot fi de trei tipuri:

— centrală comună pentru avertizoare manuale și automate de temperatură și fum;

— centrală comună pentru avertizoare manuale și automate de temperatură;

— centrală numai pentru avertizoare de fum.

În prezent, pentru semnalizarea incendiilor se fabrică centrala universală de alarmare (CUA) echipată cu un modul de serviciu pentru centra-

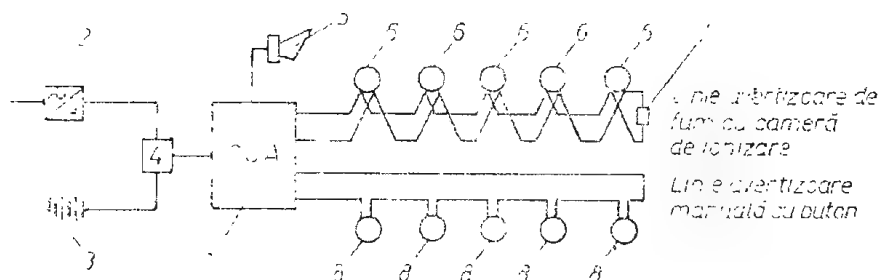


Fig. 8.8. Schema de principiu a unei instalații de semnalizare a incendiilor:

1 — centrală universală de alarmare; 2 — redresor; 3 — baterie de acumulatori; 4 — dispozitiv de comutare automată; 5 — linia de avertizare de fum; 6 — avertizoare automate de fum; 7 — rezistența terminală; 8 — avertizor manual.

lizarea informațiilor și 1 ... 10 module de linii a câte 10 linii fiecare. Ea asigură următoarele funcții:

- alarmarea acționării avertizoarelor;
- alarmarea întreruperii liniei de legătură între centrală și avertizoare;
- alarmarea punerii la masă a liniei;
- alarmarea lipsei de alimentare cu energie electrică de la baterie sau redresor;
- măsurarea tensiunii sursei de alimentare și a tensiunii de linie;
- verificarea prin testare a funcționării.

Avertizoarele manuale se acționează prin apăsarea unui buton de personalul care a detectat incendiul, asigurându-se astfel intrarea în funcțiune a centralei de avertizare. Avertizoarele automate acționează pe baza detec-tării elementelor care însoțesc declanșarea unui incendiu: creșterea tempera-turii, apariția gazelor de ardere, fumului și flăcării.

Detectorul bazat pe creșterea temperaturii este eficace în încăperi de dimensiuni reduse sau în care nu există mișcări ale aerului și cuprinde un bimetal care se deformează atunci când temperatura mediului crește, provocând deschiderea unui contact din circuitul de comandă.

Detectoarele care sesizează apariția gazelor de ardere sau a fumului sînt de tip ionic și își modifică rezistența electrică la apariția elementelor amintite. Ele sînt eficace în special în zonele unde, în condiții normale, atmosfera nu este viciată.

Detectorul bazat pe apariția flăcării sesizează variația spectrului lumino-s din zona în care sînt instalate. Ele sînt desensibilizate la variațiile de lumină datorate spectrului luminos normal și reglate să acționeze la spectrul luminos al flăcării deschise. Eficiența lor este maximă în locuri în care nivelul de iluminare normal este redus (subsoluri, tuneluri sau ca-naie etc.).

În general se utilizează un sistem combinat de detectare sau detec-toare care sesizează cel puțin două din elementele amintite.

Avertizoarele automate se amplasează, în principiu, în partea cea mai de sus a încăperii. Înălțimea maximă de montare nu va depăși 6 m pentru avertizoarele termice și 10 m pentru cele de fum. Timpii de sesizare sînt 0,5 ... 3 secunde pentru cele de flăcără, 5 ... 10 secunde pentru cele de fum cu cameră de ionizare și mai puțin de un minut pentru avertizoarele termice.

Centrala de avertizare înregistrează locul unde s-a produs incendiul și alarmează personalul. De asemenea, ea poate pune în funcțiune instala-țiile automate de stins incendiul (dacă acestea există) sau alarma cel mai apropiat post de pompieri (prin dictafoane sau benzi magnetice cu declan-șare automată).

Instalațiile pentru sesizarea incendiilor trebuie să fie sigure în funcțio-nare și să aibă un timp minim de intrare în funcțiune. Bateria de acumu-latoare este astfel dimensionată, încît să poată asigura alimentarea centralei timp de 24 ore.



## Capitolul 9

# INSTALAȚII DE PROTECȚIE

# ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII

### 9.1. GENERALITĂȚI

Dacă între două puncte ale corpului omenesc se aplică o diferență de potențial, prin corp trece un curent electric. Această trecere este însoțită de fenomene ale căror efecte se manifestă sub forme multiple și complexe și care se pot clasifica în electroșocuri și electrotraumatisme.

În poșda numeroaselor cercetări asupra efectelor fiziologice ale curentului electric este încă dificil de precizat limita la care acesta devine periculos, deoarece ea depinde de rezistența electrică a corpului omenesc, intensitatea și felul (continuu sau alternativ) curentului electric, frecvență (în cazul curentului alternativ), calea de trecere a curentului prin corp și durata de acțiune.

Electroșocurile reprezintă acțiunea curentului electric asupra sistemului nervos și muscular și pot avea diferite aspecte: contracții musculare (la curenți de 10 : 15 mA este împiedicat controlul voluntar al sistemului muscular), oprirea respirației (prin acțiunea curentului asupra centrilor nervoși ai respirației), fibrilația inimii, pierderea temporară a auzului și vocii, pierderea cunoștinței.

Electrotraumatismele constau în arsuri și metalizări ale pielii și se datoresc căldurii dezvoltate de arcul electric format la punctele de contact sau trecerii curentului electric.

Termenul de electrocutare denumește accidentul datorat trecerii curentului electric prin organism. Electrocutările se produc prin *atingeri directe și indirecte*.

Atingerile directe (fig. 9.1, *a*) reprezintă atingerea elementelor conductoare ale unei instalații electrice:

- aflate normal sub tensiune;
- scoase de sub tensiune, dar rămase încărcate cu sarcini electrice (datorită capacității de serviciu a liniilor) prin omiterea descărcării acestora după deconectare;
- scoase de sub tensiune, dar aflate sub o tensiune indusă pe cale electromagnetică sau electrostatică de alte instalații, prin omiterea legării la pământ a elementelor deconectate (de obicei prin scurtcircuitoare de lucru pe linii).

Atingerile indirecte (fig. 9.1, *b*) reprezintă atingerea unui element conductiv care în mod normal nu este sub tensiune, dar care a intrat accidental sub tensiune datorită unui defect în instalația electrică (deteriorarea izolației etc.).

În cazul atingerii simultane a două puncte de pe sol (considerate la o distanță de 0,8 m) aflate la potențiale diferite ca urmare a scurgerii prin pământ a unui curent normal (cazul prizei de pământ de exploatare)

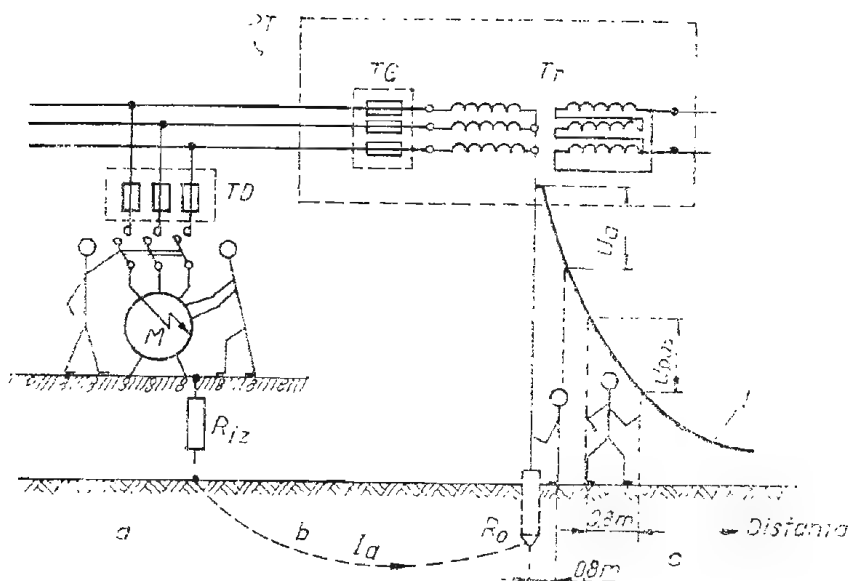


Fig. 9.1. Situațiile principale de apariție a electrocutărilor:

$a$  - atingere directă;  $b$  - atingere indirectă;  $c$  - tensiune de pas;  $f$  - curba distribuției potențialelor la jurul prize de pământ.

sau în regim de avarie (fig. 9.1,  $c$ ) omul este supus unei tensiuni numite tensiune de pas.

Trebuie remarcat, împotriva unei păreri destul de răspândite, că nu tensiunea aplicată organismului este periculoasă, ci valoarea curentului care îl străbate, mai ales dacă traseul cuprinde și inima sau puncte de mare sensibilitate nervoasă.

În legătură cu figurile 9.1 și 9.2 se definesc:

— tensiunea de defect  $U_d$  — tensiunea accidentală a unei faze (conductor sau bornă) cu izolația defectă față de pământ (sau față de o altă fază), la locul defectului;

— tensiunea instalației de legare la pământ  $U_{lp}$  — tensiunea instalației de legare la pământ față de un punct din zona de potențial nul;

— tensiunea prizei de pământ  $U_p$  — tensiunea prizei de pământ față de un punct din zona de potențial nul;

— tensiunea de atingere  $U_a$  — partea din tensiunea de defect sau din tensiunea unei instalații de legare la pământ la care este supus omul aflat la o distanță de 0,8 m față de obiectul atins;

— tensiunea de pas  $U_{pas}$  — partea din tensiunea unei instalații de legare la pământ la care este supus omul atunci când atinge două puncte de pe sol (pardoseală) situate la o distanță de 0,8 m între ele, în apropierea unui obiect racordat la instalația respectivă de legare la pământ;

— curentul de defect  $I_d$  — curent electric apărut accidental în urma unui defect;

— curentul de punere la pământ prin priză  $I_p$  — parte a curentului de defect care trece prin electrozii prizei de pământ;

— curentul prin om  $I_a$  — curent care trece prin corpul omului supus unei tensiuni electrice;

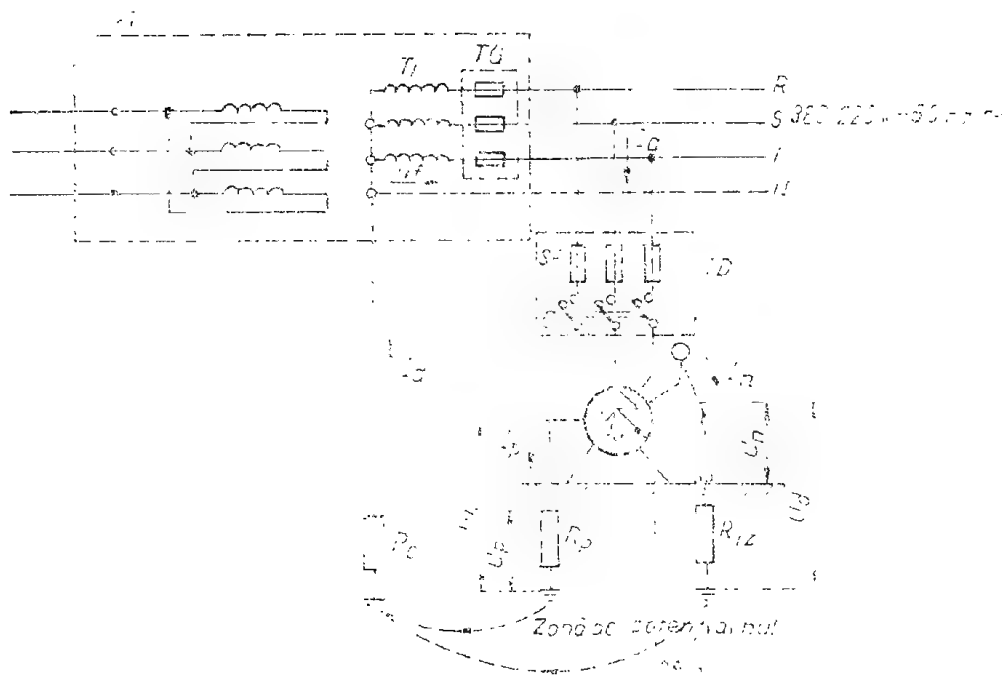


Fig. 9.2.1. Mărimi ce definesc electrocutarea.

- rezistența de dispersie a unei prize de pământ  $R_0$  — mărime caracteristică pentru o priză de pământ, reprezentînd raportul dintre tensiunea prizei de pământ ( $U_p$ ) și curentul de punere la pământ prin priză ( $I_p$ );
- tensiunea omului  $U_a$  — tensiune care determină un anumit curent  $I_a$  prin corpul unui om avînd rezistența electrică  $R_h$ ;
- coeficientul de atingere  $k_a$  și coeficientul de pas  $k_{pas}$ , definiți de relațiile

$$k_a = \frac{U_a}{U_p}, \quad (9.1)$$

$$k_{pas} = \frac{U_{pas}}{U_p}, \quad (9.2)$$

semnificația mărimilor fiind cunoscută.

$R_0$  este rezistența de trecere la pământ a instalației de legare la pământ de exploatare.

## 9.2. VALORI MAXIM ADMISE ALE MĂRIMILOR ÎN INSTALAȚIILE DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII

Efectele fiziologice ale curentului care trece prin om depind de mai mulți factori. Lăsînd la o parte elementele care nu pot fi influențate (tensiune, frecvență) sau cele care nu pot fi prevăzute (factori de natură per-

sonală, circuitul curentului prin corp), gravitatea urmărilor unui accident este determinată de intensitatea curentului  $I_k$  care străbate corpul omenesc și de durata  $t$  a trecerii curentului prin corp.

Din motive practice însă, în tehnica securității la instalațiile electrice, se lucrează cu tensiunea omului  $U_h$ , fiind mult mai ușor să se conceapă și să se dimensioneze o protecție pe baza unei tensiuni care poate fi limitată în mod nemijlocit, decît pe baza curentului care nu poate fi influențat în mod direct pentru că depinde și de rezistența corpului omenesc.

### 9.2.1. VALORI MAXIM ADMISE ALE CURENTULUI PRIN OM

În calculele de protecție împotriva electrocutării prin atingere directă sau indirectă, se iau în considerație valorile maxim admise ale curentului prin corp la un timp de trecere mai mare de 3 secunde și rezistențele corpului omenesc indicate în tabelul 9.1.

Tabelul 9.1

Valorile curenților de pericol (la  $t > 3s$ ) și a rezistențelor corpului omenesc [58]

Condiții	Curentul maxim admis, $I_{h adm}$ , mA		Rezistența corpului omenesc $R_h$ , $\Omega$
	c.a.	c.c.	
Protecția împotriva electrocutării prin atingere directă	10	50	1 000
Protecția împotriva electrocutării prin atingere indirectă	10	50	3 000
Rezistența corpului omenesc neglijabilă față de impedanța sistemului	30	50	0

Notă: este durata de trecere a curentului prin om.

### 9.2.2. VALORI MAXIM ADMISE PENTRU TENSIUNI DE LUCRU, TENSIUNI DE ATINGERE ȘI TENSIUNI DE PAS

Tensiunile de lucru se dau funcție de tipul echipamentului electric folosit și de categoria (din punct de vedere al pericolului de electrocutare) locului de muncă în care acesta se utilizează.

Se disting următoarele tipuri de echipamente:

- echipament (utilaj) fix, racordat fix la sursa de alimentare;
- echipament (utilaj) mobil (transportabil), conectat la o sursă de alimentare printr-un racord mobil, schimbarea locului de funcționare a echipamentului efectuându-se numai cu scoaterea prealabilă de sub tensiune a acestuia și a racordului mobil;
- echipament (utilaj) portabil, conectat la o sursă de tensiune printr-un racord mobil și care în timpul funcționării este purtat sau manipulat de una sau mai multe persoane.

Clasificarea locurilor de muncă din punct de vedere al pericolului de electrocutare este dată în tabelul 4.1.

Valorile maxim admise pentru tensiunile de lucru ale uneltelei electrice portabile, utilajelor mobile de sudare cu arc și corpurilor de iluminat sînt date în tabelele 9.2 și 9.3.

La restul echipamentelor, tensiunile de lucru nu sînt limitate, cu condiția respectării valorilor maxim admise ale tensiunilor de atingere și de pas, indicate în tabelele 9.4 și 9.5.

Tabelul 9.2

Valorile maxime admise pentru tensiunile de lucru ale utilajelor portabile sau mobile [32]

Categorie și tipul aparaturii, uneltelei sau utilajelor electrice	MEDIUL			Observații
	puțin periculos	periculos sau foarte periculos	Tensiuni de lucru maxim admise	
1	2	3	4	
Aparate sau unelte electrice portabile	380 V (cel mult 250 V față de pământ)	<p>a) 380 V, dacă se aplică drept mijloc principal de protecție separarea de protecție sau izolarea suplimentară de protecție sau sînt îndeplinite simultan următoarele condiții:</p> <p>aparatele sau uneltele respective sînt alimentate din rețele izolate față de pământ;</p> <p>— aparatele sau uneltele respective sînt prevăzute cu protecție prin legare la pământ care să limiteze tensiunile de atingere și de pas la valorile menționate în tab. 9.4;</p> <p>— rețeaua de alimentare este prevăzută cu un întrerupător de protecție care deconectează în maxim 0,2 s la apariția unui curent de defect de 30 mA.</p> <p>b) 127 V, dacă sînt îndeplinite în același timp următoarele condiții:</p> <p>aparatele sau uneltele respective sînt alimentate din rețele izolate față de pământ;</p> <p>— aparatele sau uneltele respective sînt prevăzute cu o protecție prin legare la pământ care să limiteze tensiunile de atingere și de pas la valorile menționate în tab. 9.4.</p> <p>— se aplică suplimentar, fie o izolație întărită, fie folosirea unor mijloace individuale de protecție, fie controlul permanent al rezistenței de izolație a rețelei de alimentare.</p> <p>c) 42 V, dacă aparatele sau uneltele sînt prevăzute cu izolație întărită.</p> <p>d) 24 V, dacă aparatele sau uneltele sînt prevăzute cu izolație normală de lucru.</p>	<p>În subteran (și în alte locuri de muncă foarte periculoase) se interzice folosirea aparatelor și uneltele electrice portabile alimentate la tensiunea de 380 V, valoarea acesteia fiind limitată la 127 V în condițiile prevăzute la punctul b) din tabel.</p> <p>- Se admite utilizarea aparatelor și uneltele electrice portabile aflate în exploatare la data intrării în vigoare a prevederilor din STAS 2612-72, la tensiuni pînă la 380 V și la care mijlocul principal de protecție este legarea la nul sau la pământ, cu condiția ca în timpul folosirii lor să se utilizeze suplimentar mijloace individuale de protecție electroizolante.</p>	

Tabelul 9.2 (continuare)

1	2	3	4
Utilaje mobile de sudare cu arc electric	<p>Transformatoare de sudare</p> <p>500 V pentru înfășurarea primară a transformatorului de sudare.</p> <p>75 V pentru înfășurarea secundară, la funcționare în gol.</p>	<p>Transformatoarele de sudare folosite în locuri de muncă periculoase și foarte periculoase vor fi echipate suplimentar cu un dispozitiv de protecție pentru realizarea uneia din următoarele măsuri:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— deconectarea de la rețea la întreruperea arcului electric;</li> <li>— reducerea tensiunii de mers în gol la o valoare maximă de 24 V;</li> <li>— alte măsuri care să asigure condiții nepericuloase pentru operator la atingerea accidentală a porțiunilor neizolate ale circuitului de sudare.</li> </ul>	
	Generatoare și convertitoare de sudare cu arc c.c.	<p>110 V, la funcționare în gol, la suprafață;</p> <p>65 V, la funcționare în gol, în subteran.</p>	

Tabelul 9.3

Valorile maxim admise pentru tensiunile de lucru ale corpurilor de iluminat [32]

MEDIUL			Observații
puțin periculos	periculos sau foarte periculos		
Tensiunea de lucru maxim admisă			
1	2	3	
220 V	<p>a) 220 V, pentru:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. — corpuri fixe de iluminat amplasate în afara zonelor de manipulare.</li> <li>2. — idem, cu lămpi incandescente, dacă intră în zona de manipulare, dar corpul de iluminat este prevăzut cu una din următoarele asigurări: <ul style="list-style-type: none"> <li>— o blocare care să permită deschiderea corpului de iluminat numai cu scule speciale;</li> <li>— o blocare care să permită deschiderea corpului de iluminat numai după scoaterea lui de sub tensiune;</li> <li>— un dispozitiv de expulzare a lămpii la scoaterea globului de protecție sau la spargerea acestuia.</li> </ul> </li> <li>3. — corpuri fixe de iluminat cu lămpi fluorescente.</li> </ol>	<p>7. Corpurile de iluminat fixe cu tensiunea de lucru maximă de 220 V și care intră în zona de manipulare vor fi prevăzute cu protecție împotriva electrocutărilor prin atingerea indirectă.</p> <p>2. Corpurile din instalațiile pentru iluminatul de siguranță care se pun sub tensiune numai la întreruperea iluminatului normal, nu necesită asigurările impuse la punctul a2.</p>	

Tabelul 9.3 (continuare)

1	2	3
	<p>b) 127 V, pentru corpurile de iluminat fixe și mobile cu incandescență, aflate în zona de manipulare, dacă racordarea lor se face la o rețea izolată față de pământ și sunt prevăzute cu o protecție prin legare la pământ care să limiteze tensiunile de atingere la valorile date în tabelul 9.4.</p> <p>c) 24 V, pentru:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. — corpurile portabile și corpurile mobile sau fixe cu incandescență aflate în zona de manipulare în locurile periculoase;</li> <li>2. — corpurile fixe și mobile cu incandescență care se află în zona de manipulare, dacă corpul este în construcție închisă, cu protecție împotriva atingerilor accidentale, având un grad de protecție de cel puțin IP14, în locurile foarte periculoase.</li> </ol> <p>d) 12 V, în locurile foarte periculoase pentru corpurile portabile și pt. corpurile mobile și fixe cu incandescență care se află în zona de manipulare.</p>	

Tabelul 9.4

Valorile maxim admise ale tensiunilor de atingere  $U_{a adm}$  și de pas,  $U_{p adm}$ , în V, în instalații cu tensiuni nominale pînă la 1000 V [32]

Locul de utilizare	Categoriile utilajelor	Mediul											
		puțin periculos				periculos				foarte periculos			
		Timpul de deconectare al protecției maxime											
		≤ 3 s		> 3 s		≤ 3 s		> 3 s		≤ 3 s		> 3 s	
		c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.	c.c.	c.a.
La suprafață	fixe și mobile	110	65	65	40	110	65	65 (110)	40	65 (110)	40 (65)	65 (110)	40
	portabile	110	65	65	40	24	24	24	24	24	24	24	24
În subteran	toate	—	—	—	—	24	24	24	24	24	24	24	24

**Observații.** 7. În toate cazurile se va prevedea o protecție maximală pentru deconectarea în caz de defect. Dacă nu există siguranța că aceasta va funcționa în toate condițiile de exploatare, se vor prevedea măsuri suplimentare de protecție.

2. În cazul aplicării legării la pământ pentru protecția împotriva electrocutărilor prin atingere indirectă în locuri de muncă „periculoase” și „foarte periculoase” se vor considera valorile maxim admise date în paranteze.

La stâlpii liniilor electrice aeriene (LEA) fără aparataj, din zone cu circulație frecventă, indiferent de timpul de deconectare, tensiunea maximă de atingere și de pas va fi:

— 65 V, pentru rețele pînă la 1000 V;

Valorile maxim admise ale tensiunilor de atingere  $U_{a adm}$  și de pas,  $U_{p adm}$  în V, în instalații cu tensiuni nominale de 1 kV sau mai mari [64]

Categorii echipamente/or	Timpul de întrerupere a curentului prin prize [s]							
	≤ 0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8-3	≥ 3
Din zonă cu circulație frecventă	125	100	85	80	75	70	65	40
Din zonă cu circulație redusă	240	200	165	150	140	130	125	125
Din zonă cu circulație redusă, cu utilizarea mijloacelor individuale de protecție	500	400	330	300	280	260	250	250

**Notă.** În zone cu circulație frecventă din afara incintelor industriale (stații, posturi de transformare, centrale etc), pentru timpi mai mari de 3 s, tensiunile de atingere sau de pas maxim admise sînt 65 V.

- 125 V, pentru rețele peste 1 000 V, cu neutrul izolat față de pămînt sau legate la pămînt prin bobine de compensare;
- 250 V, pentru rețele peste 1 000 V, cu neutrul legat la pămînt;
- 125 V, pentru rețele peste 1 000 V cu neutrul legat la pămînt, în incintele unităților industriale sau agricole, cu condiția folosirii unor izolatoare de calitate superioară la stîlpii respectivi.

### 9.3.2. VALORI MAXIM ADMISE ALE TENSIUNILOR INDUSE ÎN REȚELELE DE ENERGIE ELECTRICĂ DE JOASĂ TENSIUNE

Valorile maxim admise ale tensiunilor induse prin cuplaj inductiv datorită influenței unei linii de înaltă tensiune asupra unei linii de joasă tensiune sînt :

— 24 V, dacă linia de înaltă tensiune (inductoare) funcționează în regim normal, iar linia indusă este suspendată pe stîlpi metalici, de beton sau stîlpi de lemn șuntați prin elemente metalice (conductoare de coborîre, cabluri armate etc.);

— 60 V, dacă linia de înaltă tensiune funcționează în regim normal, iar linia indusă este suspendată pe stîlpi de lemn neșuntați, neancorați sau ancorați cu izolatoare;

— valorile din tabelul 9.6 dacă linia de înaltă tensiune este în regim de defect, iar linia indusă este suspendată pe stîlpi metalici, de beton armat sau stîlpi de lemn șuntați prin elemente metalice;

— 650 V, la un timp de deconectare mai mic sau egal cu 0,5 s și 430 V, la un timp de deconectare mai mare de 0,5 s, dacă linia de înaltă tensiune este în regim de defect, iar linia indusă este suspendată pe stîlpi de lemn neșuntați, neancorați sau cu ancore izolate;

— în orice condiții, valorile maxim admise ale tensiunilor rezultante  $U_r$ , față de pămînt în rețelele de joasă tensiune supuse influențelor pericu-



Tabelul 9.6

Valorile maxim admise pentru tensiunile induse ( $U_i$ ) în rețelele de joasă tensiune, funcție de regimul de defect din liniile de înaltă tensiune, în V [58]

Timpu de deconectare al protecției maxime [s]	≤ 0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	≥ 0,8
Tensiunea indusă [V]	250	200	165	150	140	135	125

loase, compuse din tensiunea nominală față de pământ a rețelei  $U_r$  și din tensiunea indusă  $U_i$  prin cuplaj inductiv datorită rețelelor de înaltă tensiune ( $U_r = U_r + U_i$ ), sînt cele din tabelul 9.7.

Tabelul 9.7

Tensiuni maxim admise față de pământ în rețele de joasă tensiune supuse influențelor prin cuplaj inductiv [58]

Nr. crt.	Tipul rețelei	Regim normal $U_r$ [V]	Regim de defect $U_r$ [V]
1	Linii aeriene sau cabluri din rețele publice prevăzute cu transformatoare de separație	250	1 000
2	Idem, fără transformatoare de separație	250	500
3	Linii electrice aeriene sau cabluri pentru iluminatul exterior	250	1 000
4	Linii aeriene sau cabluri pentru uz industrial cu transformatoare de separație	400	1 000
5	Idem, fără transformatoare de separație	250	60% din tensiunea de încercare a izolației față de pământ, dar nu mai mult de 1 000 V.
6	Conductoare de protecție fără tensiune de lucru	24	Valorile din tabelul 9.8

#### 9.2.4. VALORILE MAXIM ADMISE ALE TENSIUNILOR INDUSE ÎN CONDUCE PENTRU TRANSPORTUL FLUIDELOR SAU ALTE OBIECTE METALICE LUNGI

Valorile maxim admise ale tensiunilor induse prin cuplaj inductiv în conducte sau alte obiecte metalice lungi sînt:

- 24 V, dacă linia inductoare este în regim normal de funcționare;
- valorile din tabelul 9.8 dacă linia inductoare este în regim de defect.

Valorile maxim admise ale tensiunilor induse în conducte pentru transportul fluidelor sau alte obiecte metalice lungi [58].

Conducte sau alte obiecte metalice	Timpul de deconectare al protecției maximele [s]							
	≤ 0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8 - 3	> 3
Tensiunile maxime admise [V]								
Ușor accesibile atingerii	125	100	85	80	75	70	65	40
Greu accesibile atingerii	250	200	165	150	140	130	125	125

- Observații.** 1. Prin conducte sau alte obiecte ușor accesibile atingerii se înțeleg acelea care se află la o distanță mai mică sau egală cu 15 m față de drumuri, șosele sau îngrădirile locuințelor.
2. Prin conducte sau alte obiecte metalice greu accesibile atingerii se înțeleg acelea care se află la distanțe mai mari de 15 m față de drumuri, șosele sau îngrădirile locuințelor.

### 9.3. DETERMINAREA CURENTULUI ELECTRIC CARE TRECE PRIN CORPUL OMULUI

Valoarea acestui curent este mult influențată de tipul rețelei la care este racordat elementul atins și de modul de protecție împotriva electrocutării prin atingere indirectă. Principalele cazuri de atingere directă (sau indirectă în lipsa unui sistem de protecție) sînt prezentate în tabelul 9.9. În cazul existenței unui sistem de protecție împotriva electrocutării prin atingere indirectă, modul de calcul al curentului prin om se indică în continuare pentru fiecare sistem în parte.

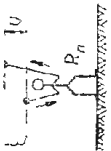
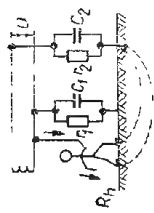
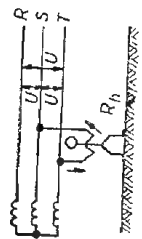
### 9.4. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII

Pentru a evita accidentele prin electrocutare, în instalațiile electrice se iau o serie de măsuri care asigură:

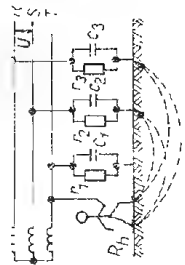
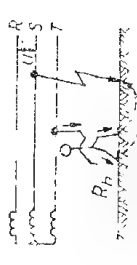
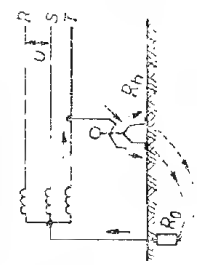

- reducerea duratei de trecere a curentului prin corpul omului, prin prevederea de dispozitive care să deconecteze rapid (sub 3 secunde) rețeaua sau instalația defectă;
- reducerea tensiunilor de atingere și de pas la valorile maxim admise;
- mărirea impedanței echivalente a omului.

Procedeele amintite se pot aplica separat sau concomitent, pentru îmbunătățirea acțiunii de protecție.

**Determinarea curentului prin om  $I_h$ , în diferite cazuri de atingeri directe**

Nr. crt.	Tipul rețelei	Felul atingerii	Schema	Curentul prin om $I_h$ , [A]	Observații
0	I	2	3	4	5
1	Rețea bifa- zată izolată față de pământ	Atingerea simultană a fazelor		$I_h = \frac{U}{R_h}$	
		Atingerea unei faze		$I_h = \frac{U \cdot r_1}{R_h(r_1 + r_2) + r_1 r_2}$ $I_h = \frac{U}{2R_h + r}$ $I_h = \frac{U\omega C}{\sqrt{1 + 4R_h^2\omega^2 C^2}}$	a) în rețele de joasă tensiune – caz general – pentru $r_1 = r_2 = r$ b) în rețele de înaltă tensiune cu $C_1 = C_2 = C$
2	Rețea trifa- zată izolată față de pământ	Atingerea simultană a două faze		$I_h = R_h$	

Tabelul 9.9 (continuare)

0	1	2	3	4	5
2	Rețea trifazată izolată față de pământ	Atingerea unei faze		$I_h = \frac{U}{\sqrt{3}R_f}$ $I_h = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r(\gamma + 6R_h)}{9(1 + \gamma^2\omega^2C^2)R_h^2}}}$ $I_h = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{3R_h + r}$ $I_h = \frac{\sqrt{3}\omega CU}{\sqrt{1 + 9\omega^2C^2R_h^2}}$	<p>— caz general, cu condiția <math>r_1 = r_2 = r_3 = r</math> <math>C_1 = C_2 = C_3 = C</math></p> <p>— în rețele de joasă tensiune <math>r_1 = r_2 = r_3 = r</math></p> <p>— în rețele de înaltă tensiune <math>C_1 = C_2 = C_3 = C</math></p>
		Atingerea unei faze, o altă fază fiind pusă la pământ		$I_h = \frac{U}{R_h + r_0}$	<p><math>r_0</math> — rezistența de punere la pământ a fazei defecte</p>
3	Rețea trifazată cu neutrul legat la pământ	Atingerea unei faze		$I_h = \frac{U}{\sqrt{3(R_h + r_1 + R_0)}}$	<p><math>r_1</math> — rezistența pe fază a liniei pînă la locul de atingere</p>
4		Descărcări capacitive		$I_h = \frac{U_m}{R_h} \cdot \frac{r}{R_0}$	<p><math>U_m</math> — valoarea tensiunii reziduale corespunzătoare situației mai defavorabile</p>

#### 9.4.1. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII PRIN ATINGERE DIRECTĂ

Pentru a se evita accidente prin electrocutare la atingeri directe, se iau următoarele măsuri de protecție:

1. Inaccesibilitatea la atingeri întâmplătoare, realizată prin:

- izolarea electrică (izolare de lucru) a tuturor elementelor conducătoare de curent care fac parte din circuitele curenților de lucru;
- utilizarea de carcase de protecție, fixate sigur pe suporturi;
- prevederea de îngrădiri din plasă, tablă perforată etc. fixate sigur pe suporturi și prin orificiile cărora să nu fie posibilă atingerea cu mâna a elementelor sub tensiune;
- amplasarea la înălțimi inaccesibile în mod normal;
- folosirea de blocări electrice sau mecanice care să nu permită accesul persoanelor neautorizate;
- amplasarea instalațiilor electrice în încăperi de categoria EE.

2. Mijloace pentru protecția personalului, care se împart în următoarele categorii:

- mijloace de protecție electroizolante care au ca scop protejarea personalului împotriva electrocutării prin izolarea față de părțile aflate sub tensiune (mijloace individuale de protecție: prăjini, clești, mănuși, cizme, șoșoni și galoși electroizolanți, scule cu minere electroizolante, platforme, covorașe și preșuri electroizolante);
- mijloace de protecție cu rolul de a verifica prezența sau lipsa de tensiune (indicatoare portabile de tensiune de tip capacitiv);
- mijloace de protecție contra apariției accidentale a tensiunii la locul de muncă (garnituri mobile de scurtcircuitare și legare la pământ);
- mijloace de protecție cu rolul de a delimita fizic zonele protejate și zonele de lucru (scurtcircuitoare, panouri și paravane mobile, împrejurări și semnalizări mobile);
- mijloace cu rol de avertizare și semnalizare vizuală (indicatoare de securitate, banderole indicatoare și indicatoare rutiere);
- mijloace de protecție contra acțiunii arcului electric, a produselor de ardere etc. (ochelari de protecție, mănuși din materiale greu inflamabile, măști de gaze, căști individuale de protecție).

3. Tensiuni reduse de alimentare a utilajelor.

4. Izolarea suplimentară de protecție.

#### 9.4.2. PROTECȚIA ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII PRIN ATINGERE INDIRECTĂ

Elementele instalațiilor care în mod normal nu sunt sub tensiune, dar care pot intra sub tensiune datorită unui defect, vor fi prevăzute cu una sau mai multe măsuri de protecție în funcție de:

- tipul rețelei de alimentare (cu neutrul izolat față de pământ sau cu neutrul legat la pământ);
- tensiunea nominală de lucru;
- categoria locului de muncă din punct de vedere al pericolului de electrocutare;
- tipul echipamentului electric;

— locul de amplasare al utilajului electric (în zona de manipulare sau în afara ei).

Nu se iau măsuri de protecție pentru:

— echipamentele electrice care au o tensiune nominală de lucru sub valorile tensiunilor de atingere maxim admise;

— elementele aparținând instalațiilor cu tensiuni nominale de lucru pînă la 380 V c.a. (între faze) și 440 V c.c. (între conductoare) din locuri de muncă puțin periculoase cu condiția să nu existe posibilitatea de a fi atinse simultan echipamente fixe și obiecte conductoare în legătură cu pămîntul sau două echipamente electrice fixe.

Metodele de protecție împotriva electrocutării pot fi principale, dacă realizează singură protecția necesară (în general prin deconectarea sub 3 secunde), sau suplimentare, dacă au rolul de a completa metodele principale în scopul mării siguranței protecției (prin scăderea tensiunilor de atingere sub valorile maxime admise sau mărirea rezistențelor de izolație).

În cazul rețelelor cu neutrul legat la pămînt, se va aplica una din următoarele *măsuri principale*:

— protecția prin legare la nul;

— alimentarea la tensiune redusă sau separarea de protecție, pentru echipamente mobile sau portabile;

și una din următoarele *măsuri suplimentare*:

— legarea la pămînt de protecție (echipamente fixe);

— izolarea suplimentară de protecție;

— egalizarea sau dirijarea distribuției potențialelor;

— deconectarea automată în cazul apariției unei tensiuni periculoase de defect sau a unui curent periculos de defect;

— folosirea mijloacelor individuale de protecție, pentru echipamente mobile sau portabile.

În cazul rețelelor cu neutrul izolat față de pămînt, se aplică concomitent următoarele măsuri de protecție:

— legarea la pămînt de protecție;

— controlul permanent al rezistenței de izolație a rețelei față de pămînt, cu deconectarea sectorului defect și semnalizarea acustică sau optică a scăderii nivelului de izolație sub valoarea de 8 k $\Omega$ /fază pentru rețelele 3  $\times$  380 V și 4 k $\Omega$ /fază pentru rețelele 3  $\times$  220 V;

— egalizarea sau dirijarea distribuției potențialelor;

— deconectarea rapidă a punerilor duble la pămînt;

— izolarea suplimentară de protecție (pentru instalațiile de înaltă tensiune);

— mijloace individuale de protecție.

### 9.4.3. PROTECȚIA PRIN LEGARE LA NUL

#### 1. Generalități

Protecția prin legare la nul se aplică rețelelor cu neutrul legat la pămînt cu tensiuni nominale pînă la 250 V față de pămînt și constă în legarea la conductorul de nul de protecție a tuturor părților metalice ale instalațiilor electrice care pot fi puse accidental sub tensiune (fig. 9.3). Ea constituie un mijloc principal de protecție și devine obligatorie dacă nu este

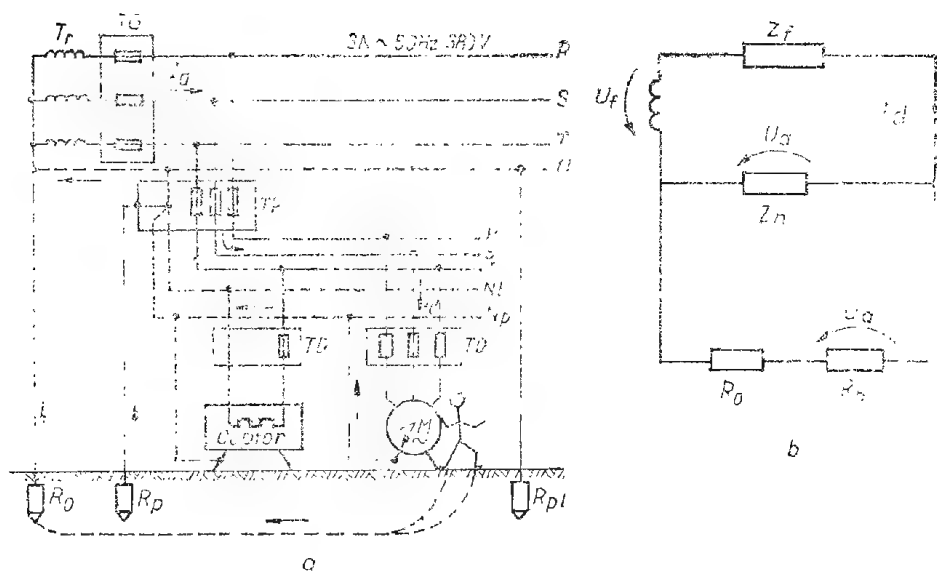


Fig. 9.3. Protecția prin legare la nul:

a — schema de principiu; b — schema electrică echivalentă pentru cazul atingerilor indirecte.

posibil să se realizeze, cu mijloace justificate tehnico-economic, protecția prin legare la pământ.

În cazul producerii unui defect de izolație a unei faze, conductorul de nul de protecție și faza defectă sînt puse în legătură galvanică prin intermediul carcasei metalice, formîndu-se astfel un scurtcircuit între faza respectivă și conductorul de nul. Curentul de defect ce apare în acest caz are expresia:

$$I_d = \frac{U_f}{Z_f + Z_n} \quad [\text{A}], \quad (9.3)$$

în care  $U_f$  este tensiunea de fază, în V;

$Z_f$  — impedanța conductorului fazei defecte de la sursa pînă la locul defectului, în  $\Omega$ ;

$Z_n$  — impedanța conductorului de nul în,  $\Omega$ .

Protecția prin legare la nul constă așadar în dirijarea curentului de defect pe o cale de curent impusă, în scopul folosirii acestuia pentru acționarea dispozitivului protecției maxime de curent. Se urmărește în acest fel izolarea prin deconectare a sectorului defect într-un timp mai scurt decît trei secunde. Dacă nu există certitudinea deconectării în maximum 3 secunde, este obligatorie prevederea unei măsuri suplimentare de protecție.

La protecția prin legare la nul, în cazul unui defect de izolație, pe conductorul de nul se produce o cădere de tensiune (neglijînd reactanțele conductoarelor) (fig. 9.3, b):

$$U_n = I_d \cdot R_n = \frac{U_f}{Z_f + R_n} \cdot R_n \quad [\text{V}], \quad (9.4)$$

relație care poate fi adusă sub forma (în ipoteza că conductorul de nul și cel de fază sînt confecționate din același material și au aceeași lungime):

$$U_0 = U_f \frac{1}{1 + \frac{s_n}{s_f}} [V], \quad (9.5)$$

în care  $U_0$  este căderea de tensiune pe conductorul de nul, în V;

$U_f$  — tensiunea de fază, în V;

$R_f$  — rezistența conductorului de fază, în  $\Omega$ ;

$R_n$  — rezistența conductorului de nul, în  $\Omega$ ;

$s_f$  — secțiunea conductorului de fază, în  $\text{mm}^2$ ;

$s_n$  — secțiunea conductorului de nul, în  $\text{mm}^2$ .

Această cădere de tensiune constituie practic o tensiune de atingere ( $U_a \approx U_0$ , deoarece  $R_n \ll R_0$ ) pentru elementele legate la nul, valoarea ei fiind în general mai mare decît valorile maxim admise.

Dacă curentul de defect nu este suficient de mare pentru a determina deconectarea sectorului avariat, prin circuitul de fază și conductorul de nul va circula timp îndelungat un curent ce produce o cădere de tensiune (tensiune de atingere) mai mare decît valorile maxim admise (considerate nepericuloase). Pentru reducerea tensiunii de atingere la o valoare mai mică ( $U_a \leq 40$  V), în ipoteza unei tensiuni de fază  $U_f = 220$  V, trebuie îndeplinită relația

$$\frac{220}{1 + \frac{s_n}{s_f}} \leq 40,$$

de unde se obține

$$s_n \geq 4,5 s_f, \quad (9.6)$$

condiție care ar conduce la consumuri exagerate de material. Din această cauză, în exploatare se impune  $s_n \leq s_f$ .

Se observă că practic protecția prin legare la nul nu asigură simultan deconectarea sectorului defect și reducerea tensiunilor de atingere sub valorile maxim admise. Din această cauză, se urmărește alegerea unei secțiuni a conductorului de protecție care să determine deconectarea sectorului defect într-un timp mai mic de 3 secunde, iar micșorarea tensiunilor de atingere se realizează cu ajutorul unei instalații de legare la pămînt care urmărește ca:

— deplasarea punctului de nul în cazul unei puneri la pămînt să nu fie posibilă decît în anumite limite;

— în cazul unui scurtcircuit, căderea de tensiune pe conductorul de nul să fie cît mai mică posibil;

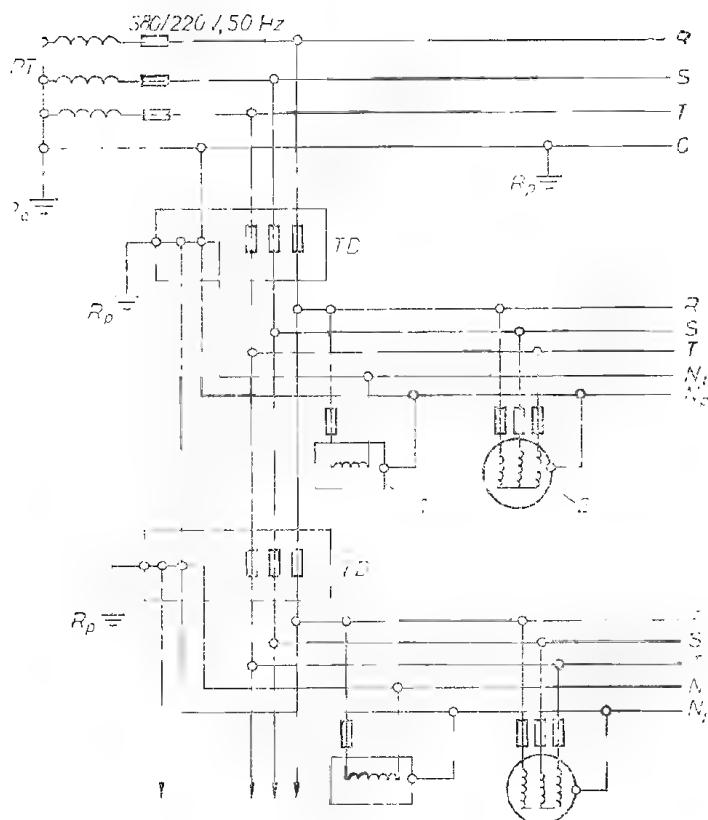
— în cazul unei întreruperi a conductorului de nul să existe o protecție de rezervă.

Pînă la ultimul tablou de distribuție, în sensul transportului de energie, la care bara de nul este legată direct la instalația de legare la pămînt, conductorul de nul de lucru se poate folosi și drept conductor de nul de protecție, dar în continuare ele trebuie separate (fig. 9.4). De la ultimul tablou de distribuție pînă la receptor (tablou de utilaj), conductorul de legare la nul de protecție va fi izolat și protejat.



Fig. 9.4. Legarea repetată în pământ a conductorului de nul:

1 - consumator montat în casă metalică; 2 - consumator înalt în casă metalică.



Întreruperea conductorului de nul de protecție poate avea consecințe grave, deoarece în acest caz toate utilajele situate în aval față de punctul de întrerupere rămân neprotejate, iar în cazul unei puneri la masă la un utilaj, prin conductorul de nul de protecție se pun sub tensiune toate utilajele legate la acesta. Din această cauză se interzice montarea de siguranțe sau întreruptoare pe traseul nulului de protecție, iar rețeaua conductoarelor de nul de protecție se leagă suplimentar la pământ în următoarele puncte:

- în apropierea sursei de alimentare;
- în cazul rețelelor aeriene, la capetele liniilor și ramificațiilor și pe traseu în locurile alese, astfel încât distanța dintre două prize de pământ de pe oricare traseu (linie sau ramificație) să nu fie mai mare de 1 000 m;
- în sectoarele productive și în instalațiile electrice interioare sau exterioare la toate tablourile de distribuție generale, principale, intermediare și secundare; o instalație de legare la pământ poate servi mai multe tablouri de distribuție.

Instalațiile de legare la pământ care deservește instalația de legare la nul se calculează conform par. 9.4.6.5, astfel încât rezistența de dispersie față de pământ, măsurată în orice punct al rețelei de nul să fie de cel mult  $4\Omega$ ; se admite depășirea acestei valori cu condiția asigurării unor tensiuni de atingere și de pas sub valorile maxim admise, în funcție de timpul de deconectare a sectorului defect.

Protecția prin legare la nul trebuie dublată de o măsură suplimentară în următoarele cazuri:

- curentul de defect nu îndeplinește condițiile (9.9) și (9.16);
- nu există siguranța deconectării echipamentului defect într-un timp mai mic de 3 secunde;
- pentru legarea la nul se folosește unul din conductoarele de aluminiu ale cablurilor;
- locul de muncă este periculos sau foarte periculos.

Ca măsură suplimentară de protecție, se poate aplica cel puțin una din următoarele:

- legarea carcaselor echipamentelor la o instalație de legare la pământ de protecție;
- egalizarea potențialelor în zona de manipulare a omului prin executarea de legături suplimentare între toate carcasele metalice ale echipamentelor;
- izolarea amplasamentului;
- folosirea protecției prin deconectarea automată a sectorului defect.

Carcasele metalice ale corpurilor de iluminat alimentate la o tensiune mai mare de 65 V și montate în locuri periculoase sau foarte periculoase se vor lega la nul în următoarele cazuri:

- sînt montate la o distanță mai mică de 2,3 m de pardoseală;
- sînt amplasate la o distanță mai mică de 1,25 m de alte obiecte conductoare legate la pământ;
- sînt instalate în zona de manipulare a omului care stă pe o construcție metalică neizolată electric față de pământ.

În instalațiile alimentate de la aceeași sursă, protecția prin legare la nul trebuie aplicată unitar, nefiind permisă utilizarea ei în anumite secțiuni ale rețelei, în timp ce în altele s-a aplicat protecția prin legare la pământ, nerespectarea acestui principiu putînd duce la accidente.

## *2. Compunerea instalațiilor de legare la nul*

Conductoarele de nul folosite pentru protecție vor fi din cupru sau din oțel. În cazuri justificate se pot folosi și conductoare din aluminiu, însă cu respectarea următoarelor condiții:

- conductorul de nul pentru protecție să fie unul din conductoarele unui cablu sau unul din conductoarele unei linii aeriene; pentru asigurarea unei rezistențe mecanice corespunzătoare, secțiunea minimă va fi de 2,5 mm<sup>2</sup> în cazul cablurilor și 16 mm<sup>2</sup> în cazul liniilor aeriene;
- în instalația respectivă să nu fie interzisă utilizarea aluminiului;
- conductoarele și legăturile electrice să fie de bună calitate;
- să se aplice și o măsură suplimentară de protecție.

În cazul în care conductoarele de nul sînt executate din materiale identice cu conductoarele de fază, secțiunea conductorului de nul de protecție va fi cel puțin egală cu cele indicate în tabelul 9.10. Pentru legarea la bara de nul a unui tablou electric a carcaselor aparatelor montate în acesta, se admite ca secțiunea conductoarelor de protecție să aibă valorile din tabelul 9.11. Barele de nul ale tablourilor generale se pot confecționa din oțel cu o secțiune minimă de 150 mm<sup>2</sup> și ele vor fi verificate la stabilitate termică pentru o temperatură maximă de 200°C.

Conductoarele de nul de protecție vor fi marcate cu culorile galben și verde alternate, cu excepția barelor neizolate care vor fi vopsite în culoare neagră cu dungii albe, late de 10 mm, la intervale de cîte 100 mm.

Tabelul 9.10

Secțiunile minime ale conductoarelor de nul de protecție executate din același material cu conductoarele de fază [61]

Secțiunea conductorului de fază $s_f$ [mm <sup>2</sup> ]	Secțiunea conductorului de nul de protecție $s_n$ [mm <sup>2</sup> ]	
	în tub, în conducte sau în cabluri cu mai multe conductoare	în linii aeriene și în instalații cu conductoare izolate
1,5	1,5	—
2,5	2,5	—
4	4	4
6	6	6
10	10	10
16	16	16
25	16	25
35	16	35
50	25	50
70	35	50
95	50	50
120	70	70
150	70	70
185	95	95
240	120	120
300	150	150
400	185	185
> 400	0,5 $s_f$	0,5 $s_f$

Tabelul 9.11

Secțiunile minime ale conductoarelor pentru legarea la nul a carcасelor aparatelor montate în tablouri electrice [61]

Valoarea nominală a curentului pentru căile de curent $I_n$ [A]	Secțiunea conductorului de protecție (Cu) $s_n$ [mm <sup>2</sup> ]
6	La fel cu conductorul principal
10	
16	
25	2,5
32	4
40 și 50	6
63	
80	
100	10
125	16
160	
200	
250	25
315	35
400	
500	
630	50
≥ 800	
	70

### 3. Proiectarea instalațiilor de legare la nul

Proiectarea instalațiilor de legare la nul constă în determinarea materialului și secțiunii conductorului de nul pe baza datelor de proiectare existente (indicate în paragraful 9.4.6.5). Calculul va cuprinde următoarele etape (se vor respecta prevederile STAS 6616-78) indicate mai jos.

a. Curentul de defect necesar pentru izolarea sectorului avariat se determină în funcție de tipul protecției maximale:

— dacă protecția se realizează prin siguranțe fuzibile

$$I_a \geq K \cdot I_{nf} \quad [A], \quad (9.7)$$

în care:  $I_{nf}$  este curentul nominal al siguranței fuzibile, în A;

$K$  — coeficient care se stabilește în funcție de tipul siguranței fuzibile, corespunzător unui timp de deconectare de 3 secunde; dacă nu se dispune de o diagramă de funcționare din care să rezulte valoarea lui  $K$ , se va lua:

$K = 3.5$ , pentru  $I_{nf} \leq 50$  A;

$K = 5$ , pentru  $I_{nf} \geq 63$  A;

— dacă protecția se realizează cu întreruptoare automate

$$I_a \geq 1,25 I_{re} \quad [A], \quad (9.8)$$

în care  $I_{re}$  este valoarea curentului de reglaj al dispozitivului de protecție pentru deconectarea la scurtcircuit a întreruptorului.

b. Relația (9.3) permite calculul impedenței necesare a conductorului de nul (la rețelele fără cabluri se poate neglija reactanța) și apoi alegerea materialului și secțiunii acestuia ținându-se cont de tipul utilajului și categoria locului de muncă. Dacă conductorul de nul se execută din același material cu conductoarele de fază, secțiunea se alege conform tabelului 9.10.

În cazul în care curentul de defect calculat conform relațiilor (9.7) și (9.8) conduce la secțiuni prea mari (în special în cazul liniilor electrice aeriene), se limitează secțiunea conductorului de nul ( $s_n \leq s_f$ ) și se micșorează siguranța fuzibilă.

c. Se verifică dacă tensiunea de atingere (rel. 9.4) este mai mică decât valorile maxim admise. În caz contrar se mărește secțiunea conductorului de nul (fără a se depăși însă secțiunea conductorului de fază) pentru a se încerca îndeplinirea condiției  $U_a < U_{adm}$ .

d. Se proiectează instalația de legare la pământ (paragraful 9.4.6.5) astfel încât să asigure scăderea tensiunilor de atingere și de pas sub valorile maxim admise. Se indică ca pe cât posibil, instalațiile de legare la pământ locale să aibă aceeași rezistență de dispresie.

Conductoarele principale de legare la pământ de protecție trebuie să fie din oțel sau din cupru și să aibă dimensiunile minime date în tabelul 9.12. Conductoarele din oțel vor fi zincate sau protejate împotriva coroziunii.

Conductoarele de ramificație pentru legarea carcaselor echipamentelor electrice la conductorul principal de protecție trebuie să fie din oțel sau cupru (la cabluri se pot folosi conductoarele din aluminiu și mantalele metalice din Al sau Pb ale acestora). Secțiunea conductorului de ramificație

Tabelul 9.12

Dimensiunile minime ale conductoarelor principale de legare la pământ în cazul instalațiilor de protecție prin legare la nul [61]

Conductori	Montat aparent sau în canale		Montat îngropat	
	secțiune [mm <sup>2</sup> ]	grosime [mm]	secțiune [mm <sup>2</sup> ]	grosime [mm]
Oțel rotund sau profile	100	3	100	4
Cablu din oțel	95	—	—	—
Cablu din cupru	25	—	25	—

va fi cel puțin egală cu 50% din secțiunea unui conductor de fază al circuitului de alimentare a receptorului respectiv, însă nu mai mare de 25 mm<sup>2</sup> pentru conductoare din cupru și 160 mm<sup>2</sup> pentru conductoare din oțel.

Indiferent de rezultatele calculului, conductoarele de ramificație pentru racordarea la instalația de legare la pământ a barelor sau bornelor de nul ale tablourilor de distribuție și a conductoarelor de nul ale liniilor aeriene vor avea dimensiunile cel puțin egale cu cele indicate în tabelul 9.13, iar pentru instalația de legare la pământ a receptoarelor, cele din tabelul 9.14.

Tabelul 9.13

Dimensiuni minime ale conductoarelor de ramificație pentru racordarea la instalația de legare la pământ a barelor de nul și a conductoarelor de nul (LEA) [61]

Conductorul	Montat aparent		Montat îngropat	
	secțiune [mm <sup>2</sup> ]	grosime [mm]	secțiune [mm <sup>2</sup> ]	grosime [mm]
Oțel rotund, bandă sau profile	50	3	50	4
Cablu din oțel zincat	50	—	—	—
Cablu rotund din cupru unifilar sau multifilar	16	—	25	—

Tabelul 9.14

Dimensiuni minime ale conductoarelor de ramificație pentru racordarea receptoarelor la instalația de legare la pământ [61]

Conductori	Montat aparent		Montat îngropat	
	secțiune [mm <sup>2</sup> ]	grosime [mm]	secțiune [mm <sup>2</sup> ]	grosime [mm]
Oțel rotund	—	5	—	6
Bandă de oțel	24	3	18	4
Profile din oțel	—	2	—	4
Sîrmă rotundă din cupru	4	—	4	—
Țevi din oțel	—	2,5	—	3,5

#### 9.4.4. ALIMENTAREA LA TENSIUNE REDUSĂ

Principiul protecției constă în reducerea tensiunilor de atingere prin limitarea tensiunilor de alimentare la maximum 42 V c.a. sau 40 V c.c. Ea se folosește ca mijloc principal de protecție în cazul utilajelor portabile utilizate în locuri periculoase și foarte periculoase din punct de vedere al electrocutării. Din păcate folosirea tensiunilor reduse este limitată la receptoare de puteri mici, ceea ce constituie un dezavantaj important. Modul de echipare corespunzător unui circuit de tensiune redusă este reprezentat în figura 9.5.

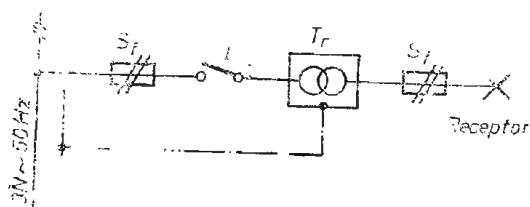


Fig. 9.5. Echiparea unui circuit de tensiune redusă.

Ca surse de joasă tensiune se pot utiliza transformatoare coboritoare (speciale de protecție, omologate ca atare), convertizoare cu înfășurări separate între ele și acumulatori electrice sau elemente galvanice. Folosirea autotransformatoarelor ca sursă de tensiune nu este admisă, deoarece prezintă pericolul de a transmite tensiunea rețelei, iar în caz de defect apar tensiuni de atingere inadmisibil de mari. În plus, autotransformatoarele pot transmite tensiuni de atingere periculoase și fără defect, dacă sînt alimentate dintr-o rețea cu neutrul legat la pământ.

În instalațiile alimentate la tensiuni reduse trebuie îndeplinite următoarele condiții:

- carcasele echipamentelor alimentate la tensiune redusă să nu fie legate la conductorul de protecție;
- circuitele electrice de tensiune redusă să nu fie cu neutrul legat la pământ;
- circuitele secundare ale transformatoarelor de protecție sau convertizoarelor să fie izolate față de pământ și față de nulul de protecție;
- carcasele metalice ale transformatoarelor de protecție să fie legate la conductorul de protecție;
- transformatoarele de protecție să fie prevăzute cu întreruptor pe circuitul de alimentare și cu siguranțe atât pe circuitul primar, cît și pe cel secundar;
- aparatele și conductoarele utilizate să fie izolate și omologate pentru tensiuni pînă la 250 V;
- fișele și prizele de tensiune redusă să fie de construcție (format sau culoare) diferită față de cele pentru tensiune normală.

#### 9.4.5. SEPARAREA DE PROTECȚIE

Separarea de protecție constă în alimentarea fiecărui receptor individual prin intermediul unui transformator de separație sau a unui grup motor-generator. În acest fel se obține o rețea izolată față de pământ,

ceea ce înseamnă că în orice punct al acestei rețele potențialul electric nu are o valoare precizată în raport cu potențialul de referință al pământului; din principiul de funcționare al transformatorului (sau al generatorului) numai diferența de potențial dintre bornele secundare este determinată.

Separarea de protecție se aplică ca mijloc principal de protecție pentru utilaje portabile, echipamente navale, prize pentru aparate de ras etc., ori de câte ori din considerente tehnice sau economice nu se poate aplica tensiunea redusă.

Schema separării de protecție este dată în figura 9.6 și principiul acestei metode constă în faptul că circuitul de lucru al utilajului este separat galvanic de rețeaua de alimentare și este izolat față de pământ. În cazul unei simple puneri la masă (de exemplu, defect în punctul *a*) nu apare nici un curent de defect — și deci nici tensiune de atingere — deoarece acesta nu are pe unde să se închidă. Din acest moment însă în rețea există un punct de potențial raportat la pământ, astfel încât un nou defect (de exemplu, în punctul *b*) duce la apariția unei tensiuni de atingere.

Pericolul apariției a două defecte simultane, pe faze diferite ale rețelei de alimentare din secundarul transformatorului de separație, conduce la necesitatea racordării unui singur receptor la transformator.

Pentru aplicarea separării de protecție, se vor îndeplini următoarele condiții:

- tensiunea nominală între faze în primar va fi de cel mult 500 V, iar tensiunea între faze pe partea secundară a transformatorului de separație sau a grupului motor-generator de cel mult 380 V;
- curentul nominal al receptorului va fi de cel mult 16 A;
- la alimentarea receptoarelor mobile și portabile se vor folosi cabluri flexibile în manta de cauciuc în execuție grea sau cel puțin medie. Se exceptează numai aparatele electrice ușoare de uz casnic care pot fi prevăzute și cu cabluri din PVC sau din cauciuc în execuție ușoară;
- circuitul secundar al transformatorului (grupul motor-generator) va fi izolat față de pământ;
- în locuri de muncă periculoase sau foarte periculoase se vor introduce numai conductoarele circuitului secundar, transformatorul amplasându-se (pe cât posibil) în afara lor;
- în locuri de muncă cu mase metalice mari, carcasa utilajelor portabile vor fi legate suplimentar cu un conductor separat la aceste mase;
- transformatorul de separație trebuie să fie de construcție specială, omologată, să aibă carcasa legată la pământ și să fie prevăzut cu întrerupător pe circuitul primar și cu siguranțe atât pe circuitul primar, cât și pe cel secundar.

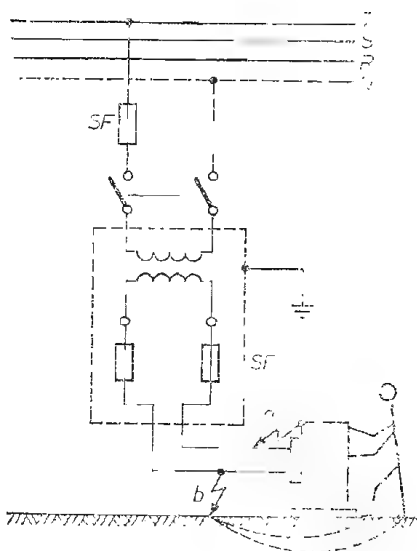


Fig. 9.6. Schema de principiu a separării de protecție.

#### 9.4.6. PROTECȚIA PRIN LEGARE LA PĂMÎNT

Protecția prin legare la pământ constă în racordarea la o priză de pământ a tuturor părților metalice ale echipamentelor electrice, care în mod obișnuit nu se află sub tensiune, dar care pot fi puse accidental sub tensiune. Prin legare la pământ, se asigură, în rețelele izolate față de pământ, micșorarea tensiunii de atingere sub valorile considerate nepericuloase, iar în rețelele cu neutrul legat la pământ, deconectarea sectorului defect concomitent cu micșorarea tensiunii de atingere.

Legarea la pământ se aplică ca mijloc principal de protecție în:

— instalații și echipamente electrice cu tensiuni de 1 000 V sau mai mari (STAS 7334-78);

— instalații și echipamente electrice fixe sau mobile, alimentate la tensiuni mai mici de 1 000 V din rețele trifazate cu neutrul izolat (STAS 6119-78);

— echipamente și utilaje portabile (aflate în exploatare) cu tensiune nominală de lucru pînă la 380 V, dacă se folosesc suplimentar și mijloace individuale de protecție (STAS 2612-72).

La instalațiile și echipamentele electrice alimentate la tensiuni mai mici de 1 000 V, din rețelele trifazate cu neutrul legat la pământ, această metodă se aplică ca mijloc suplimentar și rareori ca mijloc principal (v. par. 9.4.3) de protecție.

##### 1. Rețele electrice cu tensiuni de 1 kV sau mai mari

Conform [64], legarea la pământ constituie pentru instalațiile și echipamentele electrice de înaltă tensiune mijlocul principal de protecție împotriva tensiunilor de atingere și de pas. Ca măsuri suplimentare se prevăd dirijarea distribuției potențialelor în jurul echipamentelor electrice și îngrădirilor acestora sau izolarea amplasamentului prin acoperirea locurilor de circulație și de deservire a echipamentelor (instalațiilor) electrice cu materiale care introduc o rezistență apreciabilă între om și pământ.

Condițiile pentru asigurarea unor tensiuni de atingere și de pas sub limitele admise sînt:

$$\frac{k_a \cdot R_p \cdot I_p}{\alpha} \leq U_a \quad (9.9)$$

și

$$\frac{k_{pas} \cdot R_p \cdot I_p}{\alpha} \leq U_{pas} \quad (9.10)$$

în care:  $U_a (U_{pas})$  este tensiunea de atingere (de pas) maxim admisă conform par. 9.2.2., în V;

$R_p$  — rezistența instalației de legare la pământ de protecție, în  $\Omega$ ;

$k_a (k_{pas})$  — coeficientul de atingere (de pas) corespunzător prizei de dirijare a distribuției potențialelor;

$\alpha$  — coeficientul de izolare al amplasamentului; dacă nu sînt determinări pentru cazul respectiv se vor considera în calcule următoarele valori:

$\alpha = 2$ , pentru balast (piatră spartă) de 15 cm grosime;

$\alpha = 3$ , pentru dale de beton;

$\alpha = 5$ , pentru asfalt de 2 cm grosime;

$I_p$  — curentul de punere la pământ prin priză, în A.



Curentul de punere la pământ  $I_p$  trebuie să se determine pentru fiecare instalație în parte, în funcție de tipul și configurația rețelei respective, precum și de locul unde se consideră defectul.

Curenții și timpii de calcul pentru dimensionarea instalațiilor de legare la pământ de protecție sînt dați în [64], curentul de punere la pământ simplă putînd fi calculat cu relațiile din tabelul 9.9 în care se înlocuiește  $R_p$  cu  $R_p$ .

În incinta întreprinderilor sau platformelor industriale se realizează întotdeauna o rețea generală de legare la pământ de protecție, prin legarea între ele a tuturor instalațiilor de legare la pământ din incinta sau de pe platforma respectivă, inclusiv cele aferente instalațiilor de joasă tensiune. Instalația va îndeplini condițiile impuse instalațiilor de legare la pământ de protecție folosite în comun (par. 9.4.6.3). Pentru defectele pe partea de înaltă tensiune, pentru echipamentele electrice de joasă și înaltă tensiune, vor fi respectate valorile tensiunilor de atingere și de pas date în tab. 9.5 rîndul I. Fac excepție incintele îngrădite ale instalațiilor electrice unde are acces numai personalul de specialitate și pentru care vor fi respectate valorile indicate în rîndurile II și III ale tabelului.

În cazul în care instalația de joasă tensiune alimentează consumatori aflați în afara limitelor instalației de legare la pământ de protecție destinată echipamentelor de înaltă tensiune, la folosirea în comun a prizei de pământ și pentru rețeaua de joasă tensiune, trebuie să se respecte condițiile date în par. 9.4.3., dacă pentru partea de joasă tensiune se aplică protecție prin legare la nul. Dacă nu se respectă aceste condiții, este necesar ca instalația de legare la pământ de protecție pentru partea de înaltă tensiune să fie separată de cea pentru partea de joasă tensiune.

a) *Rețele cu neutrul legat la pământ, direct sau printr-o rezistență ohmică*

Instalația de legare la pământ se dimensionează astfel încît să realizeze tensiuni de atingere și de pas sub valorile admise, în funcție de timpul de acționare al protecției de bază, care trebuie să asigure deconectarea sectorului defect (punere la pământ monofazată) într-un timp mai mic sau cel mult egal cu 3 secunde. Instalația trebuie să îndeplinească condițiile de stabilitate termică, luîndu-se în considerare timpul de trecere a curentului de punere la pământ prin priză egal cu timpul de acționare al protecției de rezervă (protecția care acționează în cazul refuzului de funcționare a protecției de bază la o punere la pământ) și următorii curenți:

- curentul de punere la pământ prin priză, în cazul verificării stabilității termice a prizei de pământ;
- curentul de punere monofazică la pământ (scurtcircuit monofazic), în cazul verificării stabilității termice a conductoarelor de legare la pământ.

În cazul stațiilor de conexiuni și transformare interioare, pentru respectarea limitelor admise se vor lua următoarele măsuri:

- se va realiza întotdeauna o priză de pământ artificială;
- se vor folosi prizele de pământ naturale;
- se va realiza egalizarea potențialelor în interiorul clădirii;
- se va realiza o instalație de dirijare a distribuției potențialelor în exteriorul clădirii;
- se va aplica izolarea amplasamentelor atât în interior, cît și în exterior.

### b) Rețele cu neutrul izolat față de pământ

În cazul rețelor de înaltă tensiune, în categoria rețelor cu neutrul izolat intră și acelea care sînt legate la pământ prin una sau mai multe bobine de stingere. Rețelele izolate față de pământ vor fi prevăzute cu protecții pentru semnalizarea punerii la pământ simple și deconectarea automată în cazul unei puneri duble la pământ.

La posturile de transformare la care se folosește în comun instalația de legare la pământ, precum și la cele la care se realizează separarea între instalațiile de legare la pământ de pe partea de înaltă și joasă tensiune, dar care se găsesc în zone cu circulație frecventă, rezistența instalației de legare la pământ va fi mai mică sau cel mult egală cu  $4 \Omega$ , indiferent de valorile rezultate din calcul. Dacă această valoare nu poate fi obținută în condiții economice se vor lua concomitent următoarele măsuri:

— instalația de legare la pământ pe partea de înaltă tensiune se va separa de cea de pe partea de joasă tensiune;

— rezistența maximă a instalației de legare la pământ pe partea de înaltă tensiune va fi de  $10 \Omega$ ;

— protecția contra supratensiunilor atmosferice la partea de înaltă tensiune va fi asigurată cu descărcătoare cu rezistența variabilă.

Detalii privind calculul și execuția instalațiilor de legare la pământ în rețelele cu tensiuni mai mari de  $1000 \text{ V}$  sînt date în lucrarea [36].

## 2. Rețele electrice de joasă tensiune

### a) Rețele cu neutrul izolat față de pământ

Schema de principiu a protecției prin legare la pământ în cazul rețelor cu neutrul izolat este dată în figura 9.7. În cazul apariției unui defect de izolație la receptor (se consideră punere netă la carcasă), prin omi trece un curent:

$$I_h = \frac{\sqrt{3} U}{3R_h + r + \frac{r \cdot R_h}{R_p}} \quad [\text{A}] \quad (9.11)$$

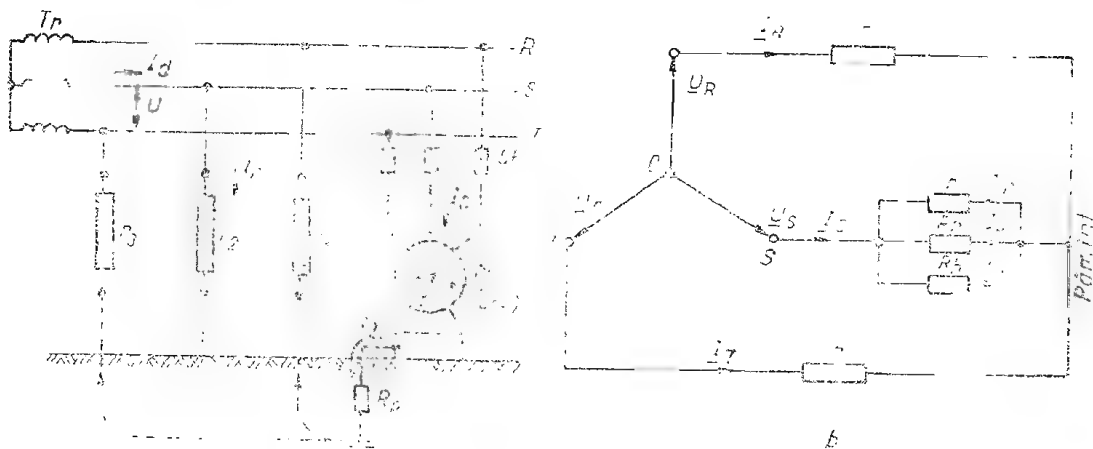


Fig. 9.7. Protecția prin legare la pământ în rețele electrice de joasă tensiune cu neutrul izolat.  
a — schema de principiu; b — schemă echivalentă pentru cazul atingerilor indirecte ( $r_1 = r_2 = r_3 = r$ ).

în care  $U$  este tensiunea de linie a rețelei, în V;

$R_0$  — rezistența omului, în  $\Omega$ ;

$r = r_1 = r_2 = r_3$  — rezistența de izolație a rețelei față de pământ, în  $\Omega$ ;

$R_p$  — rezistența instalației de legare la pământ de protecție, în  $\Omega$ .

Dacă instalația nu este prevăzută cu legare la pământ ( $R_p = \infty$ ), relația (9.11) devine:

$$I_0(R_p = \infty) = \frac{\sqrt{3} U}{3R_0 + r} [\text{A}]. \quad (9.12)$$

Raportînd valoarea curentului care trece prin om în cazul în care carcasa este legată la pământ la valoarea curentului cînd carcasa nu este legată la pământ se obține:

$$\frac{I_0}{I_0(R_p = \infty)} = \frac{1}{1 + \frac{r \cdot R_0}{R_p(3R_0 + r)}}. \quad (9.13)$$

Raportul (9.13) este întotdeauna subunitar, indicînd rolul de protecție al instalației de legare la pământ.

Deoarece în general  $R_p \ll R_0$  și  $R_p \ll r$ , pentru curentul prin instalația de legare la pământ se obține:

$$I_p \approx \frac{\sqrt{3} U}{2R_p + r} [\text{A}]. \quad (9.14)$$

Omul este supus tensiunii de atingere

$$U_a = R_p \cdot I_p = \frac{\sqrt{3} U \cdot R_p}{2R_p + r} [\text{V}], \quad (9.15)$$

cu atît mai scăzută cu cît rezistența instalației de legare la pământ este mai mică. Impunînd valoarea dorită pentru  $U_a$ , priza de pământ se dimensionează astfel ca:

$$R_p \leq \frac{r \cdot U_a}{\sqrt{3} U - 2U_a} [\Omega]. \quad (9.16)$$

Dacă rezistențele de izolație față de pământ pe cele trei faze nu sînt egale sau dacă curenții capacitivi nu pot fi neglijăți (rețele de joasă tensiune în cabluri), curentul prin instalația de legare la pământ (relația 9.14) se poate calcula cu relațiile date în tabelul 9.9, în care  $R_0$  se înlocuiește cu  $R_p$ .

Din relațiile (9.15) și (9.16) se observă importanța rezistenței de izolație la limitarea tensiunii de atingere. Deteriorarea izolației rețelei față de pământ determină majorarea tensiunii de atingere peste valorile admise, astfel încît nu se mai asigură protecția contra electrocutării.

Pericolul poate deveni foarte mare, dacă în timp ce există punerea la carcasă datorită deteriorării izolației unei faze la un anumit utilaj, apare o nouă punere la pământ, pe o altă fază a rețelei, la alt utilaj. În acest caz se stabilește un curent de scurgere între faze, adică o punere la pământ

bifazată. În această situație, indiferent de valorile rezistențelor prizelor  $R_{p1}$  și  $R_{p2}$  la care se leagă utilajele respective, suma tensiunilor de atingere

$$U_{a1} + U_{a2} = U \quad (9.17)$$

este constantă și egală cu tensiunea de lucru a rețelei. Această înseamnă că la cel puțin unul dintre utilaje va apare o tensiune de atingere periculoasă, în unele cazuri ambele tensiuni depășind limita admisă. Evitarea accidentelor este posibilă prin legarea carcaselor utilajelor electrice printr-un conductor de rezistență electrică mică.

În acest caz

$$U_{a1} + U_{a2} = \frac{R_c}{R_{c1} + R_{c2} + R_c} \cdot U \quad [\text{V}], \quad (8.18)$$

în care  $R_c$  — este rezistența conductorului de legătură, în  $\Omega$ ;  
 $R_{c1}$ ,  $R_{c2}$  — rezistențele conductoarelor pe fazele defecte care se găsesc în circuitul curenților de defect, în  $\Omega$ ;  
 $U$  — tensiunea între faze a rețelei, în V.

Măsura propusă permite reducerea tensiunilor de atingere sub valorile maxim admise, iar la o reglare corespunzătoare a protecției la scurtcircuit asigură deconectarea sectorului defect într-un timp mai scurt de 3 secunde. Dat fiind pericolul pe care îl prezintă punerile la pământ bifazate, protecția împotriva accidentelor prin atingere indirectă necesită în plus o instalație de semnalizare automată în cazul unei puneri simple la pământ.

Se poate deci concluziona că legarea la pământ este eficientă în cazul rețelelor de joasă tensiune cu neutrul izolat, dacă se îndeplinesc următoarele condiții:

- rezistențele instalațiilor de legare la pământ să fie suficient de mici, astfel încât tensiunile de atingere în cazul unei puneri simple la pământ să nu depășească valorile date în tabelul 9.4;
- carcasele echipamentelor electrice să fie legate între ele prin legături de egalizare a potențialelor;
- rezistențele instalațiilor de legare la pământ și a celorlalte legături de protecție să fie controlate riguros în mod periodic;
- se realizează controlul permanent al rezistenței de izolație față de pământ prin dispozitive cu posibilități de semnalizare (acustică și optică) în cazul unei puneri simple la pământ (în rețele cu  $U \geq 42$  V c.a. sau  $U \geq 60$  V c.c.);
- se asigură deconectarea rapidă a sectorului defect în cazul unei puneri duble la pământ.

Legarea la pământ de protecție în rețelele de joasă tensiune cu neutrul izolat se realizează prin racordarea carcaselor metalice ale tuturor echipamentelor electrice atât la o rețea generală de protecție cit și, suplimentar, la o instalație de legare la pământ locală (fac excepție corpurile de iluminat, care se leagă numai la rețeaua generală de protecție). Diferite elemente metalice aflate în apropierea instalațiilor (echipamentelor) electrice (construcții metalice, conducte pentru diverse fluide etc.) vor fi legate la instalațiile de legare la pământ locale în vederea egalizării potențialelor.

Rețeaua generală de protecție realizează o legătură conductoare continuă între toate carcasele și elementele de susținere metalice ale echipamentelor electrice alimentate de la aceeași sursă de energie electrică (trans-

formator sau generator), precum și o legătură de rezistență electrică negli-  
jabilă între toate instalațiile de legare la pământ locale. În cazul în care  
există mai multe sectoare alimentate de la aceeași sursă, rețelele generale  
de protecție ale fiecărui sector vor fi conectate între ele, constituind o  
rețea comună.

Rețeaua generală de protecție trebuie să fie legată la cel puțin două  
prize de pământ situate în puncte diferite, astfel dimensionate încât rezistența  
de trecere la pământ a rețelei generale de protecție să fie mai mică sau cel  
mult egală cu 2 ohmi pentru instalațiile și echipamentele din subteran și  
4 ohmi pentru restul instalațiilor și echipamentelor electrice.

Rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ locale va fi  
stabilită prin prescripții departamentale astfel încât tensiunile de atingere  
și de pas să nu depășească — în cazul unei puneri la pământ simple, va-  
loările maxime admise. În cazul în care nu se dispune de date pentru deter-  
minarea curentului de punere la pământ simplă, la exploatarea subterane  
rezistența maximă a prizei locale va avea următoarele valori:

— 20  $\Omega$ , pentru prize locale care deservește posturile de transformare și  
instalațiile din camerele de mașini;

— 50  $\Omega$ , pentru prizele locale care deservește restul instalațiilor elec-  
trice.

Se admite și racordarea numai la instalații de legare la pământ locale,  
cu respectarea următoarelor condiții:

— rezistența instalației de legare la pământ să fie mai mică sau cel  
mult egală cu 4 ohmi;

— în exploatarea subterană se realizează întotdeauna o rețea generală  
de protecție;

— se vor aplica suplimentar izolarea amplasamentelor sau dirijarea  
distribuției potențialelor astfel încât tensiunea de atingere și de pas să fie  
mai mică sau cel mult egală cu 65 V.

#### b. Rețele cu neutrul legat la pământ

Schema de principiu a protecției prin legare la pământ în cazul rețele-  
lor cu neutrul legat la pământ printr-o priză de pământ de exploatare, este  
dată în figura 9.8. În cazul apariției unui defect de izolație, prin circuitul

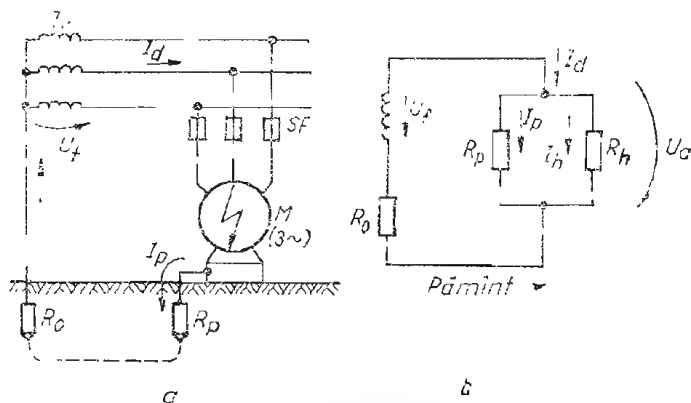


Fig. 9.8. Protecția prin legare la pământ în rețele electrice de joasă  
tensiune cu neutrul legat la pământ:

a — schema de principiu; b — schema echivalentă pentru cazul atingerilor indirecte.

fază-pământ va trece un curent (în cazul cel mai defavorabil, când rezistența de izolație se neglijează și  $R_b \gg R_p$ ):

$$I_d = I_p = \frac{U_f}{R_0 + R_p} \quad [\text{A}], \quad (9.19)$$

în care:  $U_f$  — tensiunea de fază a rețelei, în V;

$R_p$  — rezistența instalației de legare la pământ de protecție, în  $\Omega$ ;

$R_0$  — rezistența instalației de legare la pământ de exploatare, în  $\Omega$ .

Tensiunile de atingere dintre carcasă și sol  $U_{ap}$  respectiv dintre instalația de legare la pământ de exploatare și sol  $U_{a0}$  sînt:

$$U_{ap} = R_p \cdot I_p = \frac{R_p}{R_0 + R_p} U_f \quad [\text{V}]; \quad (9.20)$$

$$U_{a0} = R_0 \cdot I_d = \frac{R_0}{R_0 + R_p} U_f \quad [\text{V}]. \quad (9.21)$$

Indiferent de valorile rezistențelor  $R_p$  și  $R_0$ , suma tensiunilor este constantă și egală cu tensiunea de fază:

$$U_{ap} + U_{a0} = U_f \quad (9.22)$$

și deci cel puțin una dintre tensiunile de atingere ajunge la valori periculoase.

Se demonstrează că valorile tensiunilor de atingere nu depind de valorile absolute ale rezistențelor instalațiilor de legare la pământ, ci de raportul lor. Aceasta înseamnă că pentru ca instalația de legare la pământ de protecție să asigure o tensiune de atingere sub o valoare dorită, este necesar ca rezistențele  $R_p$  și  $R_0$  să se găsească în raportul:

$$\frac{R_p}{R_0} \leq \frac{U_{ap}}{U_f - U_{ap}}. \quad (9.23)$$

Realizînd instalațiile de legare la pământ în condițiile expuse (pentru  $U_{ap} = 65$  V rezultă  $R_p/R_0 \leq 0,42$ , iar pentru  $U_{ap} = 40$  V,  $R_p/R_0 \leq 1/4,5$ ), tensiunea de atingere a instalației de legare la pământ de exploatare va avea o valoare periculoasă, astfel încît trebuie luate măsuri suplimentare de protecție.

Rezultă deci că într-o rețea cu neutrul legat la pământ nu este posibil ca protecția prin legare la pământ să asigure tensiuni de atingere sub o anumită valoare fixată în toate punctele rețelei. Acest neajuns se elimină prin realizarea unei legături conductive de rezistență redusă între priza de pământ de exploatare și cea de protecție.

Legătura echivalează de fapt cu realizarea protecției prin legare la nulul de protecție, asigurînd micșorarea tensiunilor de atingere și mărirea curenților de defect.

În rețelele de joasă tensiune cu neutrul legat la pământ, protecția prin legare la pământ poate fi utilizată ca mijloc principal de protecție numai dacă se prevăd echipamente pentru deconectarea rapidă a sectorului defect. Instalația de legare la pământ trebuie să fie astfel dimensionată încît  $U_{a0}$  și  $U_{pa}$  să nu depășească valorile maxim admise, iar sectorul defect să fie

deconectat într-un timp  $t \leq 3$  s. Indiferent de rezultatul calculului, rezistența de dispersie a instalației de legare la pământ nu va depăși  $4 \Omega$  (această valoare se obține din relația 9.20 în care se iau  $U_{ap} = 65$  V,  $U_f = 220$  V și  $R_0 = 10 \Omega$ ; având în vedere că s-a neglijat rezistența pământului și impedanța pe fază până la locul defectului, valoarea de  $4 \Omega$  pentru  $R_p$  se consideră că asigură  $U_{ap} < 65$  V).

Practic, legarea la pământ nu constituie în cazul rețelelor cu neutrul legat la pământ o metodă de protecție suficient de sigură din următoarele motive:

- pot apărea tensiuni de atingere sau de pas periculoase fie la priza de pământ de protecție, fie la priza de pământ de exploatare;
- curentul de defect nu asigură întotdeauna acționarea protecției utilului defect;
- valorile  $R_p$  rezultate uneori din calcul nu pot fi realizate practic decât cu investiții foarte mari.

Datorită motivelor arătate, în rețelele cu neutrul legat la pământ, ca metodă principală de protecție se utilizează protecția prin legare la nul, legarea la pământ fiind măsura suplimentară de protecție.

### 3. Utilizarea în comun a instalațiilor de legare la pământ

Pot fi utilizate în comun următoarele categorii de instalații de legare la pământ:

a) aferente instalațiilor electrice cu  $U_n < 1$  kV;

b) de exploatare, dacă sînt îndeplinite condițiile pentru valorile maxime admise ale tensiunilor de atingere (în funcție de valoarea timpului de deconectare);

c) aferente instalațiilor de paratrăsnet, dacă rezistența de dispersie a prizei de pământ comune va fi de cel mult  $1 \Omega$  și cu condiția separării conductoarelor de legare la pământ a instalației de paratrăsnet pînă la priză (vezi cap. 10);

d) aferente instalațiilor din centrale, stații și posturi de transformare în care alimentarea pe partea de înaltă tensiune se face prin rețele cu neutrul izolat ( $U_n \leq 35$  kV), iar pe partea de joasă tensiune se aplică protecția prin legare la nul, în următoarele cazuri (fig. 9.9):

- rețeaua de înaltă tensiune se compune din cabluri subterane cu armătură metalică fără înveliș electroizolant;

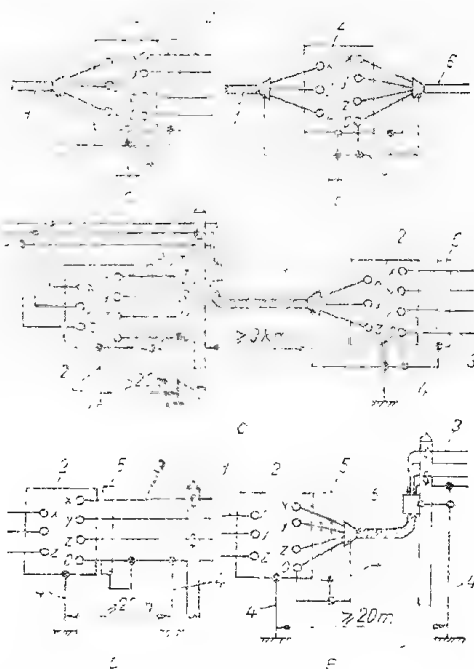


Fig. 9.9. Căzui de utilizare în comun a instalațiilor de legare la pământ:

a — priză comună IT-LES, JT-LEA; b — idem IT-LES, JT-LES; c — prize separate IT-LEA, JT-LEA și comună IT-LES din IEA; d — prize separate JT-LEA, JT-LEA; e — idem JT-LEA, JT-LEA — IEA; f — linie electrică subterană de înaltă tensiune (IT-LES); g — post de transformare; h — linie electrică aeriană de joasă tensiune (JT-LEA); i — instalație de legare la pământ; j — obiect metalic de pe JT care trebuie legat la pământ; k — linie electrică subterană de joasă tensiune (JT-LES).

- instalațiile de joasă tensiune sînt destinate numai serviciilor interne;
- nu se pot separa instalațiile de legare la pămînt datorită contactului electric cu obiecte metalice de întindere mare sau separarea ar necesita cheltuieli mari;
- este îndeplinită condiția

$$R_p \leq \frac{U_{c.azm}}{I_p}, \quad (9.24)$$

în care  $R_p$  este rezistența de dispersie a instalației comune, iar  $I_p$  intensitatea curentului de punere la pămînt pe partea de înaltă tensiune (indiferent de valoarea calculată, se impune  $R_p \leq 4 \Omega$ ).

Dacă condițiile date la pct. d) nu pot fi respectate, sau dacă nu se pot asigura valori corespunzătoare pentru tensiunile de atingere în orice situație de defect, instalațiile de legare la pămînt pe înaltă și joasă tensiune trebuie separate.

#### 4. Compunerea instalațiilor de legare la pămînt de protecție

Instalația de legare la pămînt de protecție cuprinde următoarele elemente (fig. 9.10): priza de pămînt; conductorul principal de legare la pămînt; conductoarele de ramificație de la conductorul principal la utilaje; conductorul de legătură dintre conductorul principal și priza de pămînt; diferite piese de legătură și montaj.

Priza de pămînt constituie elementul principal al instalației de protecție și din punct de vedere constructiv se deosebește prize de pămînt *naturale* și *artificiale*.

Ele pot fi:

- simple, dacă sînt alcătuite dintr-un singur electrod plan, cilindric, sferic, inel etc (tab. 9.21 și 9.22);

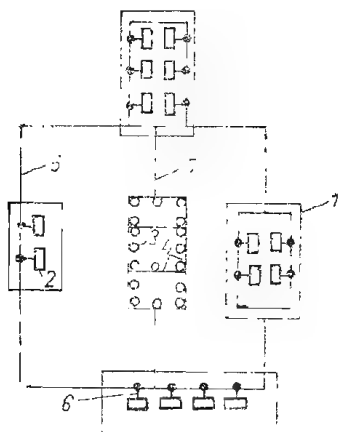


Fig. 9.10. Compunerea instalației de legare la pămînt de protecție (joasă tensiune):

1 — construcție; 2 — echipament electric; 3 — electrod; 4 — conductoare de legătură între electrozii (centură exterioră); 5 — conductor principal de legare la pămînt (centură interioară); 6 — conductor de ramificație; 7 — conductor de legătură între priza și conductorul principal. *Observație:* elementele 3 și 4 formează priza de pămînt complexă.

- multiple, dacă sînt realizate prin legarea mai multor prize simple de același fel;

- complexe, dacă sînt realizate prin legarea mai multor prize multiple (verticale și orizontale).

Prizele de pămînt naturale se compun din elemente conductive ale construcțiilor existente și care pot servi pentru trecerea spre pămînt a curenților de defect ce apar în mod accidental. Ele prezintă o serie de avantaje — cheltuieli minime de investiții și exploatare, durată mare de funcționare, secțiune mare etc. — fapt care le recomandă în practică. Ca prize de pămînt naturale se pot folosi:

- elementele metalice ale construcțiilor în contact cu pămîntul (direct sau prin fundații de beton);

- armăturile metalice ale construcțiilor din beton armat în contact cu pămîntul;

- conducte metalice îngropate în pămînt pentru transportul fluidelor necombustibile, cu condiția ca elementele izolate să fie



șuntate cu legături conductive corespunzătoare (dar nu mai puțin de 16 mm<sup>2</sup> Cu sau 50 mm<sup>2</sup> Ol);

— învelișurile și armăturile metalice ale cablurilor subterane (fac excepție cablurile cu armătură din aluminiu) cu condiția ca secțiunea legăturii de continuitate la cuitile de îmbinare sau ramificație să fie de cel puțin 4 mm<sup>2</sup> Cu la secțiuni ale învelișului cablului de max. 6 mm<sup>2</sup> și 10 mm<sup>2</sup> Cu la secțiuni mai mari.

Valoarea rezistenței de dispersie a elementelor naturale poate fi apreciată prin asimilarea lor cu electrozii prizelor de pământ artificiale, dar rezultatele obținute prin calcule vor fi verificate întotdeauna prin măsurători.

Tabelul 9.15

Secțiunile (*s*), grosimile (*g*) și diametrele ( $\emptyset$ ) minime ale electrozilor și ale conductoarelor de legătură în instalații cu tensiuni până la 1000 V [61]

Tipul electrodului	Durata de funcționare			
	mai mică de 10 ani		mai mare de 10 ani	
	pH $\geq 6$	pH $< 6$	pH $\geq 6$	pH $< 6$
Benzi sau alte profile din oțel (cornier, T, I etc.) neprotejat	$s = 100 \text{ mm}^2$ $g = 4 \text{ mm}$	nu sînt admise	$s = 100 \text{ mm}^2$ $g = 6 \text{ mm}$	nu sînt admise
Idem zincat	$s = 100 \text{ mm}^2$ $g = 4 \text{ mm}$	$s = 100 \text{ mm}^2$ $g = 6 \text{ mm}$	$s = 100 \text{ mm}^2$ $g = 4 \text{ mm}$	$s = 150 \text{ mm}^2$ $g = 6 \text{ mm}$
Idem protejat în strat de bentonită	$s = 100 \text{ mm}^2$ $g = 4 \text{ mm}$	$s = 100 \text{ mm}^2$ $g = 4 \text{ mm}$	$s = 100 \text{ mm}^2$ $g = 4 \text{ mm}$	$s = 100 \text{ mm}^2$ $g = 4 \text{ mm}$
Țevi din oțel neprotejat	$g = 3,5 \text{ mm}$	nu sînt admise	$g = 4,5 \text{ mm}$	nu sînt admise
Idem zincate	$g = 3,5 \text{ mm}$	$g = 3,5 \text{ mm}$	$g = 3,5 \text{ mm}$	$g = 4,5 \text{ mm}$
Idem protejat în bentonită	$g = 3,5 \text{ mm}$	$g = 3,5 \text{ mm}$	$g = 3,5 \text{ mm}$	$g = 3,5 \text{ mm}$
Oțel rotund neprotejat	$\emptyset 11 \text{ mm}$	nu sînt admise	$\emptyset 14 \text{ mm}$	nu sînt admise
Idem zincat	$\emptyset 10 \text{ mm}$	$\emptyset 10 \text{ mm}$	$\emptyset 10 \text{ mm}$	$\emptyset 14 \text{ mm}$
Idem protejat în bentonită	$\emptyset 10 \text{ mm}$	$\emptyset 10 \text{ mm}$	$\emptyset 10 \text{ mm}$	$\emptyset 10 \text{ mm}$
Placă din oțel neprotejată	$g = 3 \text{ mm}$	nu sînt admise	$g = 4 \text{ mm}$	nu sînt admise
Idem zincate	$g = 3 \text{ mm}$	$g = 4 \text{ mm}$	$g = 3 \text{ mm}$	$g = 4 \text{ mm}$
Idem protejat în bentonită	$g = 3 \text{ mm}$	$g = 3 \text{ mm}$	$g = 3 \text{ mm}$	$g = 3 \text{ mm}$
Oțel rotund protejat prin înglobare în beton	$\emptyset 8 \text{ mm}$	$\emptyset 8 \text{ mm}$	$\emptyset 8 \text{ mm}$	$\emptyset 8 \text{ mm}$

#### Observații

Utilizarea electrozilor din plăci se va evita pe cît posibil, iar pentru a putea fi folosite ca electrozi, plăcile trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

— suprafața unei singure fețe a plăcii trebuie să fie de min. 1 m<sup>2</sup>; dacă placa este găurită, suprafața totală a decupărilor trebuie să nu depășească 35% din suprafața plăcii, respectînd condiția de min. 1 m<sup>2</sup> suprafață utilă;

- muchia superioară a plăcii trebuie să se găsească la cel puțin 1 m sub nivelul solului;
- grosimea plăcii trebuie să fie de cel puțin 3 mm;
- distanța dintre două plăci trebuie să fie de 3...6 m.

Prizele de pământ artificiale se realizează special pentru a permite trecerea la pământ a curenților de defect și se execută din oțel (în special) sau cupru (numai dacă solul este foarte agresiv —  $\text{pH} < 4$  și dacă rezultă că este mai economic decât protejarea oțelului în strat de bentonită). Secțiunile ( $s$ ), grosimile pereților ( $g$ ) și diametrele minime ale electrozilor și ale conductoarelor de legătură dintre aceștia nu vor fi mai mici decât cele indicate în tabelul 9.15 respectiv 9.16.

Tabelul 9.16

Grosimea minimă a electrozilor din oțel pentru prizele de pământ artificiale în instalații cu tensiuni peste 1 kV [64]

Nr. crt.	Modul de protejare împotriva coroziunii	Felul electrozului	Grosimea minimă a electrozului, în mm, pentru:	
			$\text{pH} \geq 6$	$\text{pH} < 6$
1 2 3	neprotejate	profil țeavă placă	6,0 4,5 4,0	* nu sunt admise
4 5 6	zincate	profil țeavă placă	4,0 3,5 3,0	
7 8 9	în strat de bentonită cu o grosime de min. 200 cm	profil țeavă placă	4,0 3,5 3,0	

#### Observații

1. În cazul prizelor de pământ destinate unei funcționări până la 10 ani, grosimile (\*) pot avea respectiv valorile de 4,0; 3,5; 3,0 mm (ca la nr. crt. 4, 5, 6).
2. Secțiunea minimă a electrozilor din oțel pentru prizele de pământ artificiale este de 150 mm<sup>2</sup>.
3. Secțiunea minimă a electrozilor din cupru pentru prizele de pământ artificiale va fi de 25 mm<sup>2</sup> pentru electrozi masivi și de 35 mm<sup>2</sup> pentru conductoare fuzie. Grosimea minimă a electrozilor din cupru va fi de 3 mm, pentru bare sau bandă și de 2 mm pentru plăci.

Prizele de pământ artificiale pot fi verticale sau orizontale.

Prizele verticale (fig. 9.11) se folosesc în cazul în care straturile de la adâncime ale solului au rezistivități mai mici. Distanța de la partea superioară a electrozului îngropat până la suprafața solului va fi de cel puțin 0,5 m. Dacă distanța este mai mică, se va considera ca lungime utilă numai partea de la 0,5 m adâncime de îngropare până la capătul inferior al electrozului.

Prizele orizontale (fig. 9.12) se folosesc în cazul în care straturile de suprafață ale solului au o rezistivitate mai mică. Așezarea electrozilor poate fi radială (cu unghiurile dintre raze egale) sau paralelă. Adâncimea de îngropare este de regulă 0,6 ... 1 m, iar lungimea electrozilor peste 3 m.

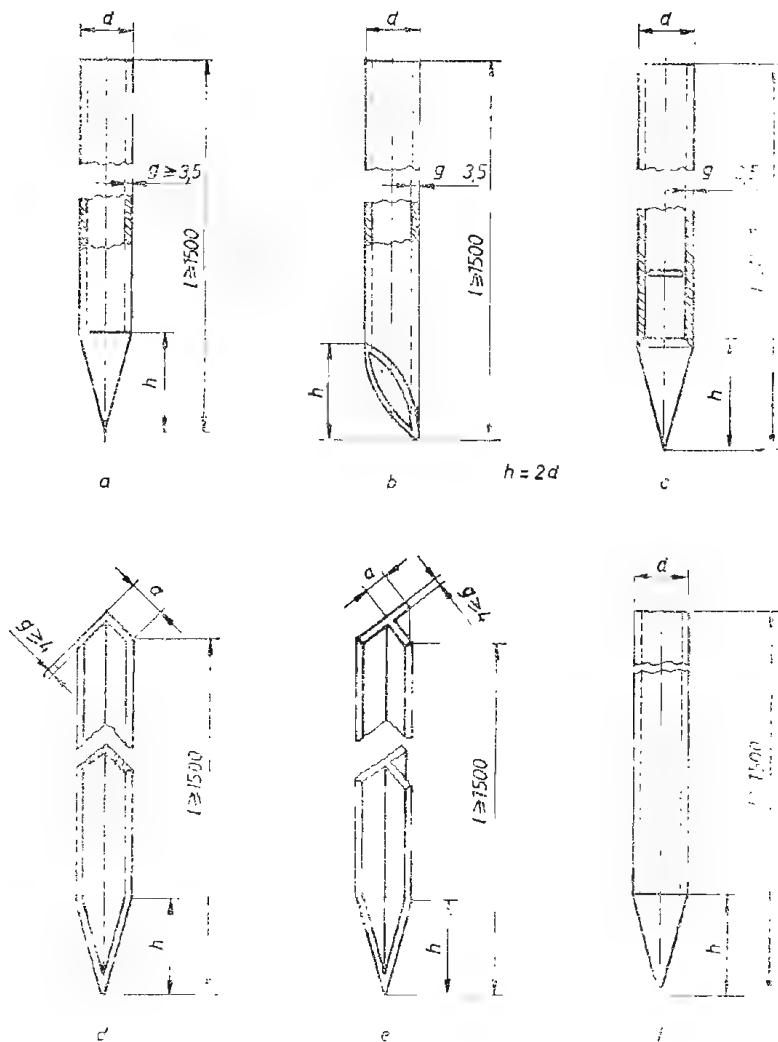


Fig. 9.11. Electrozi pentru prize de pământ verticale:

*a, b, c* — din țevă de oțel; *d, e* — din profile de oțel; *f* — de adâncime (din țevă de oțel)

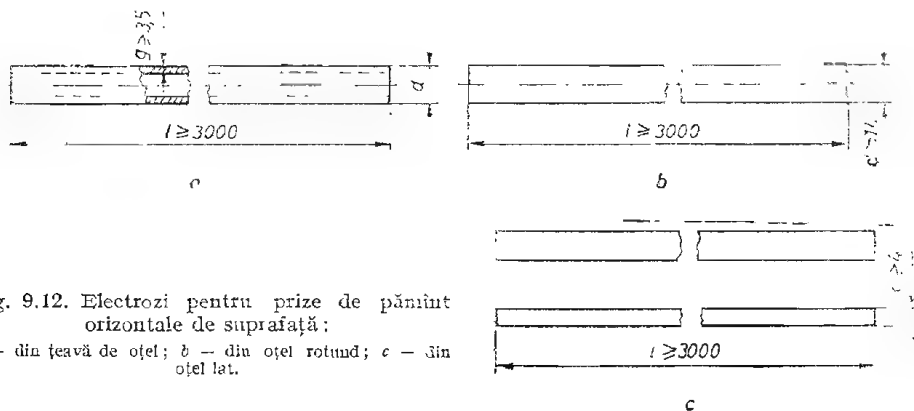


Fig. 9.12. Electrozi pentru prize de pământ orizontale de suprafață:

*a* — din țevă de oțel; *b* — din oțel rotund; *c* — din oțel lat.

Este interzisă folosirea electrozilor de aluminiu, funie de oțel sau a celor asamblați prin legături neconductoare sau care au acoperiri izolante.

Conductoarele de legare la pământ trebuie să prezinte o rezistență electrică cât mai mică posibil (rezistența echivalentă a conductoarelor de la utilaj pînă la priza de pământ trebuie să fie maximum 0,5 ohmi) și pe acestea este interzis a se monta elemente care pot produce o întrerupere a circuitului (siguranțe fuzibile, întreruptoare etc.).

Este interzisă de asemenea folosirea conductoarelor de aluminiu drept conductoare de legare la pământ, cu excepția conductoarelor de aluminiu ale cablurilor.

Conductorul principal de legare la pământ va fi legat la priza de pământ prin cel puțin două legături diferite, racordate în două locuri distincte la priza de pământ și secțiunea sa va fi mai mare sau cel puțin egală cu valorile date în tabelele 9.17 și 9.18.

Conductoarele de ramificație se vor executa din oțel sau cupru avînd secțiunea minimă admisă dată în tabelele 9.19 și 9.20.

Pișele de legătură și montaj asigură continuitatea instalației de legare la pământ în cazul în care îmbinarea componentelor nu se face prin sudură.

Tabelul 9.17

Secțiunea minimă a conductoarelor principale de legare la pământ în instalații cu tensiuni nominale pînă la 1000 V [60]

a) Conductoarele nu însoțesc conductoarele de lucru

Tipul conductorului	Secțiunea minimă, în mm <sup>2</sup> , pentru :		
	Conductor îngropat în pământ		Montaj aparent în canale sau conductor înglobat în beton
	neprotejat	protejat în țevă de oțel etc.	
Sîrmă de oțel sau oțel rotund	95	95	95
Bandă sau profile de oțel cu $g \geq 3$ mm	—	100	100
Idem, cu $g \geq 4$ mm	100	—	—
Cablu din sîrme de oțel galvanizate, conductor unifilar de cupru	25	25	25
Conductor multifilar de cupru	35	25	25

b) Conductoarele însoțesc conductoarele de lucru și sînt protejate împotriva solicitărilor mecanice

Tipul conductorului	Secțiunea minimă, în mm <sup>2</sup> , a conductorului principal în tub de protecție însoțind conductorul de lucru, funcție de secțiunea conductoarelor de lucru în mm <sup>2</sup> .			
	Cu $\leq 2,5$ Al $\leq 4,0$	Cu $\leq 6$ Al $\leq 10$	Cu $\leq 10$ Al $\leq 16$	Cu $\leq 16$ Al $\leq 25$
Conductoare de cupru unifilare sau multifilare	4	6	10	16

Tabelul 9.18

Secțiunea minimă a conductoarelor principale de legare la pământ la instalații cu tensiuni nominale de 1 kV sau mai mari [64]

Nr. crt.	Felul conductorului	Secțiunea [mm <sup>2</sup> ]
1	Conductor de oțel cu $g \geq 3$ mm	100
2	Cupru masiv cu $g \geq 2$ mm	25
3	Funic de oțel	95
4	Funic de cupru	25

Tabelul 9.19

Secțiunea minimă a conductoarelor de ramificație în instalații cu tensiuni nominale de 1 kV sau mai mari [64]

Nr. crt.	Felul conductorului	Secțiunea [mm <sup>2</sup> ]
1	Conductor de oțel cu $g \geq 3$ mm	50
2	Funic de oțel	50
3	Cupru masiv sau funic de cupru	16

Tabelul 9.20

Secțiunea minimă a conductoarelor de ramificație în instalații cu tensiuni nominale până la 1000 V [66]

Tipul conductorului	Montaj aparent indiferent de secțiunea conductorului de lucru	Secțiunea minimă [mm <sup>2</sup> ]			
		Montat în tuburi de protecție, la o secțiune a conductorului de lucru [mm <sup>2</sup> ]			
		Cu $\Delta$ 2,5 Al $\Delta$ 4	Cu $\Delta$ 6 Al $\Delta$ 10	Cu $\Delta$ 10 Al $\Delta$ 16	Cu $\Delta$ 16 Al $\Delta$ 25
Oțel rotund sau sîrmă de oțel Bandă sau alte profile din oțel cu grosimea minimă de 3 mm	50	—	—	—	—
Cablu din sîrme de oțel galvanizate	50	—	—	—	—
Conductor de cupru unifilar sau multifilar	16	4	6	10	16

De asemenea ele asigură izolarea diferitelor sectoare ale instalației în vederea măsurărilor periodice a rezistenței de dispersie. Dimensiunile pieselor de legătură și montaj sînt date în [60].

##### 5. Proiectarea instalației de legare la pământ de protecție

Datele necesare pentru proiectare sînt:

— tipul rețelei de alimentare (cu neutrul izolat sau cu neutrul legat la pământ);

- tensiunea de linie (fază) a rețelei de alimentare;
- utilajele care trebuie recordate la instalația de legare la pământ (putere nominală, tensiune de alimentare, modul de realizare a protecției la scurtcircuit);
- tipul echipamentului de lucru folosit (par. 9.2.2);
- categoria locului de muncă din punct de vedere al pericolului de electrocutare — tabelul 4.1.

Proiectarea va cuprinde următoarele etape:

a. Tensiunile de atingere și de pas maxim admise  $U_{a adm}$  se iau din tabelul 9.4 și 9.5 în funcție de tipul echipamentului și a locului de muncă.

b. Curentul prin instalația de protecție  $I_p$  se stabilește în funcție de tipul rețelei în care se asigură protecția. În calculele de dimensionare a instalațiilor de legare la pământ de protecție se vor lua în considerare următorii curenți:

— *curentul de punere la pământ simplă* dar nu mai puțin de 10 A, la rețele cu neutrul izolat față de pământ cu tensiuni de 1 kV sau mai mari; pentru  $I_p$  se poate utiliza relația

$$I_p = \frac{U \cdot l}{k} \text{ [A]}, \quad (9.24)$$

în care  $U$  este tensiunea nominală a rețelei, în kV;

$l$  — lungimea simplă a rețelei, în km;

$k$  — un coeficient egal cu 10 la LES și 350 la LEA;

— *curentul efectiv de punere la pământ prin priză* în cazul unei puneri la pământ monofazate, la rețele cu neutrul legat la pământ cu tensiuni de 1 kV sau mai mari;

— *în rețele cu neutrul izolat față de pământ* cu tensiuni mai mici de 1000 V:

— *curentul de punere la pământ simplă*, dar nu mai puțin de 10 A, în instalații echipate cu dispozitive care permit semnalizarea și deconectarea sectorului defect în cazul unei puneri la pământ simple;

— *curentul de punere la pământ dublă*, în instalații echipate cu dispozitive care permit semnalizarea punerilor la pământ simple și deconectarea automată în cazul punerilor la pământ duble. Acest curent se calculează cu relațiile 9.7 sau 9.8 în funcție de tipul protecției maxime;

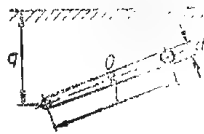
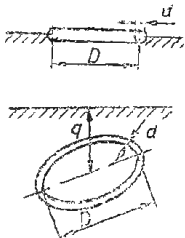
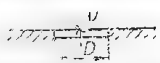

— *în rețele cu neutrul legat la pământ* cu tensiuni mai mici de 1000 V în care legarea la pământ constituie măsura de protecție principală, se consideră curentul de punere la pământ simplă sau când acesta nu este determinat, se iau valorile care rezultă din relațiile 9.7 și 9.8.

c. Rezistența de dispersie necesară a instalației de legare la pământ se determină pentru toate cazurile cu relația

$$R_p = \frac{U_{a adm}}{I_p} \text{ } [\Omega], \quad (9.25)$$

semnificația mărimilor fiind cunoscută.

Calculul rezistenței de dispersie a prizei simple orizontale [60]

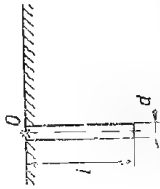
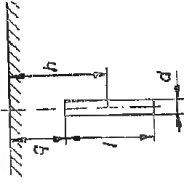
Electrodul prizei simple (singulare)	Schița	Formula de calcul a rezistenței de dispersie a prizei simple orizontale
Țeavă așezată orizontal la nivelul suprafeței solului		$r_{p0} = 0,732 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{2l}{d}$
Țeavă îngropată orizontal la adâncimea $q$ .		$r_{pq} = 0,366 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{l^2}{q \cdot d}$ $r_{pq} = 2 \cdot \frac{\rho}{l}$
Profil (oțel lat) cu secțiunea dreptunghiulară așezat: -- la suprafață; -- la adâncimea $q$ ;		$r_{p0} = 0,732 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{4l}{b}$ $r_{pq} = 0,366 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{2l^2}{b \cdot q}$
Electrod inelar cu secțiune circulară așezat orizontal: -- la nivelul suprafeței solului; -- la adâncimea $q$ ;		$r_{p0} = 0,732 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{8l}{\pi \cdot d}$ $r_{pq} = 0,366 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{4l^2}{\pi \cdot q \cdot d}$
Electrod inelar cu secțiune dreptunghiulară așezat: -- la suprafață; -- la adâncimea $q$ ;		$r_{p0} = 0,732 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{16l}{\pi \cdot b}$ $r_{pq} = 0,366 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{8l^2}{\pi \cdot b \cdot q}$
Placă așezată pe suprafața solului		$r_{p0} = 0,44 \frac{\rho}{\sqrt{S}}$
Placă circulară așezată pe suprafața solului		$r_{p0} = \frac{\rho}{2D}$
Electrod semisferic îngropat, cu o suprafață circulară (baza) la nivelul suprafeței solului.		$r_{p0} = \frac{\rho}{\pi \cdot D}$

Notațiile utilizate sînt:

- $r_{p0}$  -- rezistența de dispersie a prizei simple la suprafața solului, în  $\Omega$ ;  
 $r_{pq}$  -- rezistența de dispersie a prizei simple la adâncimea  $q$ , în  $\Omega$ ;  
 $\rho$  -- rezistivitatea de calcul a solului, în  $\Omega \cdot m$ ;  
 $d$  -- diametrul electrodului, în m;  
 $b$  -- lățimea barei, în m;  
 $l$  -- lungimea electrodului, în m;  
 $S$  -- suprafața plăcii, în  $m^2$ ;  
 $D$  -- diametrul plăcii sau inelului, în m,  
 $q$  -- adâncimea de îngropare a prizei orizontale, în m;

\* Formula simplificată, cu aproximație acceptabilă pentru  $l = 10 \dots 25$  m și  $d \approx 0.016$  m.

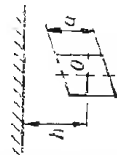
Calculul rezistenței de dispersie a prizelor simple verticale [89]

Peel electrodului prize simple (singulare)	Schița	Formula de calcul a rezistenței de dispersie
Țeavă cu partea superioară la nivelul suprafeței solului și diametrul țevii mult mai mic decât lungimea ei $d \ll l$		$r_{pa} = 0,366 \frac{\rho}{l} \log \frac{4l}{d}$ $2) \quad r_{p0} = 0,9 \frac{\rho}{l}$
Țeavă îngropată la adâncimea $h = q + \frac{l}{2}$		$r_{pa} = 0,366 \frac{\rho}{l} \log \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \log \frac{4h+l}{4h-l} \frac{\rho}{l}$
Bară cu secțiunea dreptunghiulară: — la nivelul suprafeței solului — îngropată la adâncimea $h = q + \frac{l}{2}$		$r_{p0} = 0,366 \frac{\rho}{l} \log \frac{8l}{b}$ $r_{pa} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left( \log \frac{4l}{b} + \frac{1}{2} \log \frac{4h+l}{4h-l} \right)$
Pieacă de formă neregulară îngropată la adâncimea $h = q + \frac{l}{2}$		$r_{pa} = \frac{\rho}{8} \frac{S}{\pi} \left( 1 + \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{S}{4h^2 + \pi} \right)$



Placă pătrată îngropată la adâncimea

$$h = q + \frac{a}{2}$$

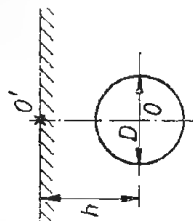


$$r_{pa} = 0,222 \frac{\rho}{a} \left( 1 + 0,637 \arcsin \sqrt{\frac{1}{1 + \pi \left( 1 + \frac{2q}{a} \right)^2}} \right)$$

$$** r_{pa} = 0,25 \frac{\rho}{a}$$

Placă circulară îngropată la adâncimea

$$h = q + \frac{D}{2}$$



$$r_{pa} = 0,25 \frac{\rho}{D} \left( 1 + 0,637 \arcsin \sqrt{\frac{1}{1 + \left( \frac{4h}{D} \right)^2}} \right)$$

Notațiile utilizate sînt :

- $\rho$  — rezistivitatea de calcul a solului, în  $\Omega m$  ;
- $l$  — lungimea electrodului, în m ;
- $b$  — lățimea barei, în m ;
- $d$  — diametrul exterior al țevii, în m ;
- $q$  — distanța de la partea superioară a electrodului pînă la suprafața solului, în m ;
- $S$  — aria unei fețe a plăcii, în  $m^2$  ;
- $a$  — latura plăcii pătrate, în m ;
- $D$  — diametrul plăcii circulare, în m ;
- $r_{p0}$  — rezistența de dispersie a prizei simple avînd partea superioară la nivelul suprafeței solului, în  $\Omega$  ;
- $r_{pa}$  — rezistența de dispersie a prizei simple avînd partea superioară la adâncimea  $q$ , în  $\Omega$ .

\* Formulă simplificată, cu aproximație acceptabilă pentru  $l = 1 \dots 6$  m.

\*\* Formulă simplificată cu aproximație acceptabilă.

În cazul prizelor simple, rezistența de dispersie a acestora se notează cu  $r$ , și ea poate fi calculată cu ajutorul relațiilor date în tabelele 9.21 și 9.22. Valorile informative ale rezistivităților diferitelor soluri și ape sînt indicate în tabelul 9.23. Dacă electrozii nu au secțiune circulară, fiind confecționați din alte profile de oțel (secțiune pătrată, dreptunghiulară, cor-

Tabelul 9.23

Rezistivități ale diferitelor soluri și ape

(valori informative)

Nr. crt.	Natura solului sau apei	Rezistivitate $\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	
		Domeniul de variație în funcție de umiditatea și conținutul de săruri	Valori recomandate pentru calcule preliminare
1	Soluție de sare și ape acide	0,01	0,01
2	Apă de mare	1,0...5,0	3,00
3	Apă de pîrîu și rîu	10...50	20,00
4	Apă de iaz sau izvor	40...50	40,00
5	Apă subterană	20...70	50,00
6	Apă de munte (pîrîuri, rîuri, lacuri)	100...1200	700,00
7	Pămînt, humă, turbă (foarte umede)	15...20	20,00
8	Cernoziom	10...70	50,00
9	Humă vînată cu conținut de sulfură de fier	10...20	10,00
10	Pămînt arabil	40...60	50,00
11	Pămînt argilos, argilă	40...150	80,00
12	Pămînt pietriș	100...500	200,00
13	Loess, pămînt de pădure, argilă cu nisip	100...300	200,00
14	Pămînt nisipos	150...400	300,00
15	Nisip foarte umed	100...500	400,00
16	Balast cu pămînt	500...6000	1000,00
17	Nisip, nisip cu pietriș	1000...2000	1000,00
18	Roci bazalte	10 000	10 000
19	Stîncă compactă	100 000	100 000
20	Granit, marmură	$10^8...10^9$	$10^8$
21	Sare gemă	$10^{11}$	$10^{11}$
22	Mică	$10^{12}...10^{15}$	$10^{15}$

nier, profile T, I, U etc.) se folosesc aceleași formule, înlocuind diametrul  $d = 2r$  cu următoarele mărimi:

- în cazul profilului U cu lățimea tălpilor  $b$ ,  $d = b$ ;
- în cazul oțelului cornier cu aripi egale  $b$ ,  $d = b$ ;
- în cazul oțelului cornier cu aripi inegale avînd aripa cea mai mică egală cu  $b$ ,  $d = b$ ;
- în cazul profilului T cu înălțimea tălpiei  $a$ ,  $d = a$ ;
- în cazul profilului I cu înălțimea  $h$ ,  $d = h/2$ .

Relațiile date permit determinarea elementelor componente ale prizei de pămînt, plecînd de la valoarea calculată din (9.25).

Practic însă, o priză de pămînt simplă nu este suficientă pentru a obține rezistența de dispersie necesară sau tensiunile de atingere și de pas maxim admisibile și din această cauză se utilizează prize multiple sau prize complexe. Prizele multiple verticale sau orizontale sînt formate din  $n$  electrozi identici

legați în paralel și rezistența lor de dispersie se calculează cu relația (se neglijează aportul legăturilor dintre electrozi)

$$R_p = \frac{r_p}{u \cdot n} [\Omega], \quad (9.26)$$

în care:  $r_p$  este rezistența de dispersie a unei prize simple, în  $\Omega$ ;  
 $u$  — coeficientul de utilizare (tab. 9.24, 9.25, 9.26 și 9.27);  
 $n$  — numărul de electrozi.

Tabelul 9.24

Calculul coeficientului de utilizare  $u$  pentru prize multiple orizontale paralele [60]

Lungimea ficăteia dintre prizele singulare, în m	Coeficientul de utilizare pentru o distanță între 2 electrozi de:	
	4 m	8 m
15...30	0,75	0,85
30...60	0,70	0,80

Tabelul 9.25

Calculul coeficientului de utilizare  $u$  pentru prize multiple orizontale radiale [60]

Lungimea unei bare, în m	Coeficientul de utilizare pentru o adâncime de îngropare $q = 0,5 \dots 1$ m	
	Priză radială cu trei electrozi	Priză radială cu patru electrozi
3	0,75	0,62
6	0,77	0,65
9	0,78	0,68
12	0,80	0,70
18	0,81	0,71

Prizele complexe sînt formate din mai multe prize verticale simple, legate în paralel prin prize orizontale sub formă de benzi. Rezistența totală a unei prize complexe este:

$$R_p = \frac{R_{p1} \cdot R_{p2}}{R_{p1} + R_{p2}} (\Omega), \quad (9.27)$$

în care:  $R_{p1}$  este rezistența de dispersie a prizei multiple verticale, în  $\Omega$ ;  
 $R_{p2}$  — rezistența de dispersie a prizei multiple orizontale (conductoarele de legătură), în  $\Omega$ .

Rezistențele  $R_{p1}$  și  $R_{p2}$  se calculează cu relația (9.26), coeficienții de utilizare  $u_1$  pentru  $R_{p1}$  și  $u_2$  pentru  $R_{p2}$  fiind dați în tabelul 9.28. Coeficienții de utilizare au valori subunitare și reprezintă efectul de ecranare reciprocă ce apare între prizele simple apropiate. Dacă distanța dintre electrozii verticali ai unei prize complexe este mai mică decît lungimea unui electrod, valoarea coeficienților de utilizare scade atît de mult încît priza devine neeconomică.

Calculul coeficientului de utilizare  $u$  pentru prize multiple verticale [60]

Modul de așezare a electrozilor identici legați paralel	Formula de calcul a coeficientului de utilizare
Electrozii sînt așezați în linie dreaptă	$u = \frac{1 - \frac{\rho}{2\pi e r_p} \cdot \frac{5}{6}}{\left(1 + \frac{\rho}{2\pi e r_p}\right) \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\rho}{2\pi e r_p}\right) - \frac{9}{4} \left(\frac{\rho}{2\pi e r_p}\right)^2\right]}$
Electrozii sînt așezați în vîrfurile unui poligon regulat	$u = \frac{1}{1 + \frac{\rho}{2\pi D \frac{r_p}{n}} \cdot C}$
Electrozii sînt așezați pe toate laturile unui dreptunghi	$u = \frac{1}{1 + \frac{\rho}{2p \frac{r_p}{n}} \cdot C}$

Notațiile utilizate sînt:

- $e$  — distanța între electrozi, în m;
- $D$  — diagonala cea mai mare a poligonului sau diametrul cercului circumscris, în m;
- $C$  — coeficientul de corecție, o funcție de numărul de electrozi legați în paralel, a cărei valoare se ia din tabelul 9.27;
- $n$  — numărul de electrozi;
- $p$  — perimetrul dreptunghiului, în m;
- $r_p$  — rezistența de dispersie a unui singur electrod, în  $\Omega$ .

Tabelul 9.27

Valorile coeficientului de corecție  $C$  în funcție de numărul de electrozi legați în paralel pentru prize multiple verticale [60]

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$C$	0,5	0,77	0,96	1,10	1,22	1,32	1,41	1,48	1,55
$n$	15	20	30	40	50	60	70	80	100
$C$	1,81	1,98	2,24	2,41	2,56	2,68	2,78	2,86	3,00

În figurile 9.13 și 9.14 se dau nomograme pentru calculul rezistenței de dispersie la cîteva tipuri uzuale de prize complexe.

d. Alegerea conductoarelor principale de legare la pămînt și a celor de ramificație se face pe baza curentului de punere la pămînt calculat la punctul  $b$ , folosindu-se tabelele 9.17—9.20.

e. Verificarea condițiilor de stabilitate termică a instalațiilor de legare la pămînt se face în special în cazul rețelelor cu tensiune de peste 1 kV, la care curenții de trecere prin instalație sînt mai mari.

Coefficienții de utilizare pentru prize complexe [60]

Nr. de electrozi	Distanța ( $e$ ) dintre electrozii verticali în raport cu lungimea ( $l$ ) a electrozilor	Coefficientul de utilizare			
		Electrozii verticali așezați liniar		Electrozii verticali amplasați pe un contur (circuit închis)	
		priza verticală $u_1$	priza orizontală $u_2$	priza verticală $u_1$	priza orizontală $u_2$
2	$e = l$	0,85	0,80	—	—
3		0,80	0,80	0,75	0,50
4		0,75	0,77	0,65	0,45
5		0,70	0,75	0,62	0,42
6		0,65	0,60	0,60	0,40
10		0,60	0,60	0,55	0,33
20		0,50	0,20	0,50	0,25
40		—	—	0,40	0,20
60		—	—	0,38	0,20
100		—	—	0,35	0,19
2	$e = 2l$	0,90	0,90	—	—
3		0,85	0,90	0,80	0,60
4		0,82	0,88	0,75	0,55
5		0,80	0,85	0,72	0,52
6		0,78	0,80	0,70	0,50
10		0,75	0,75	0,66	0,44
20		0,70	0,56	0,61	0,33
40		—	—	0,55	0,29
60		—	—	0,52	0,27
100		—	—	0,50	0,24
2	$e = 3l$	0,95	0,95	—	—
3		0,90	0,90	0,90	0,75
4		0,88	0,85	0,85	0,70
5		0,85	0,82	0,82	0,68
6		0,82	0,80	0,80	0,65
10		0,80	0,75	0,75	0,56
20		0,75	0,68	0,70	0,45
40		—	—	0,65	0,39
60		—	—	0,62	0,36
100		—	—	0,60	0,33

O instalație de legare la pământ se consideră stabilă termic dacă în urma trecerii prin ea a curentului de punere la pământ nu apar încălziri care ar putea provoca întreruperi ale conductoarelor, creșterea importantă a rezistenței de dispersie sau alte defecte.

Supratemperatura maxim admisă este 60°C pentru electrozi îngropați la o adâncime de cel mult 0,6 m și 80°C pentru o adâncime mai mare.

Relațiile de calcul privind verificarea la stabilitate termică a prizelor de pământ sînt:

— pentru un regim termic de scurtă durată (de ordinul secundelor):

$$S \geq I_p \sqrt{\frac{\rho \cdot l}{\gamma \cdot \theta}}, \quad (9.28)$$

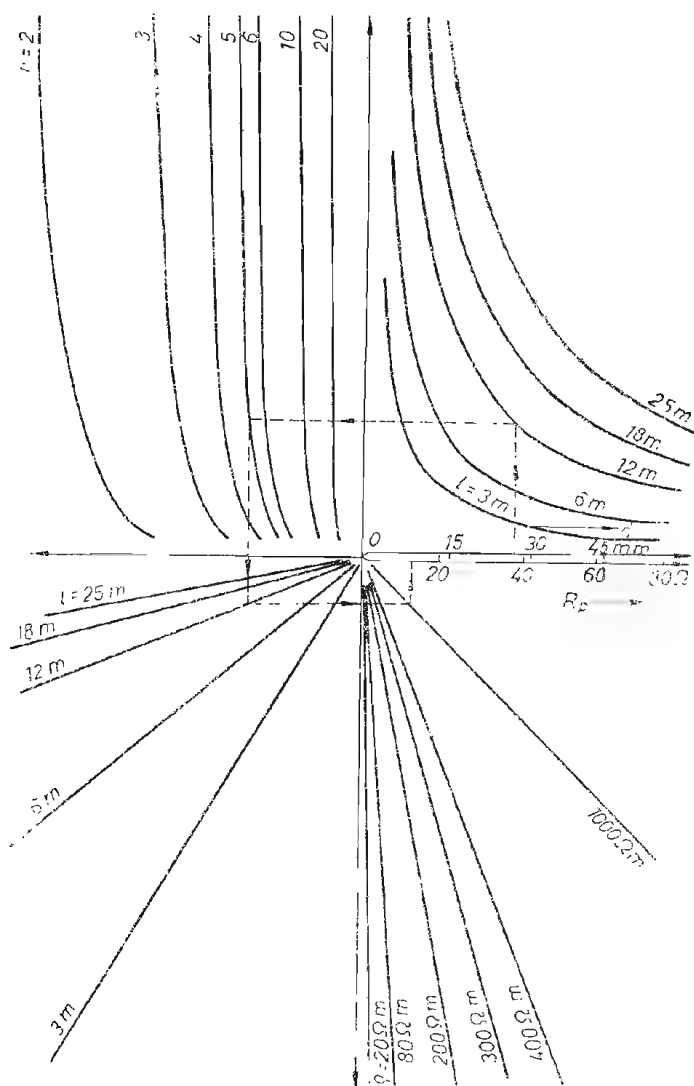


Fig. 9.13. Calculul nomografic al prizelor complexe cu electrozi verticali așezați liniar la nivelul solului și legați printr-un conductor orizontal ( $e = 3l$ ).

în care  $S$  este suprafața de contact a electrozilor cu solul, în  $m^2$ ;

$I_p$  — curentul prin priză, în A;

$\rho$  — rezistivitatea de calcul a solului, în  $\Omega m$ ;

$\theta$  — supratemperatura, în  $^{\circ}C$ ;

$\gamma$  — căldura specifică medie a pământului (dacă nu sînt date concrete, se consideră  $\gamma = 1,7 \cdot 10^3$ ), în  $Ws/^{\circ}C \cdot m^3$ ;

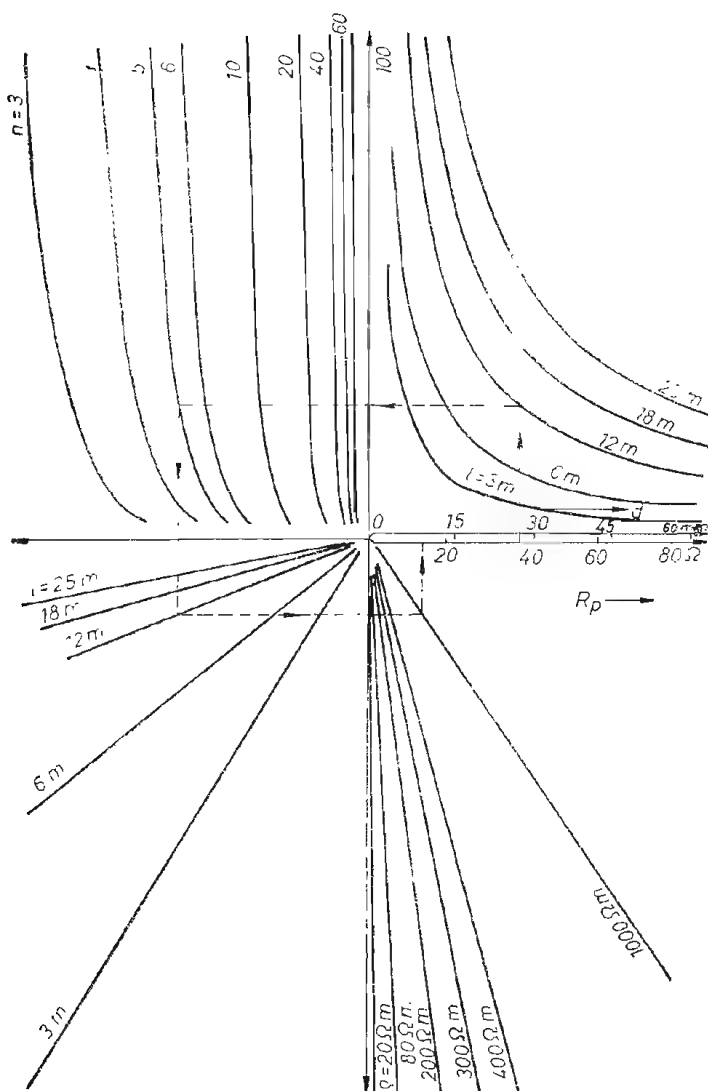


Fig. 9.14. Calculul nomografic al prizelor complexe cu electrozi verticali așezați pe un contur la nivelul solului și legați printr-un conductor orizontal ( $\epsilon = 3$ ).

— pentru un regim termic cu o durată  $t'$  cel mult egală cu timpul  $t$  indicat în tabelul 9.29 în funcție de rezistivitatea solului și tipul prizei de pământ:

$$R_p \leq \frac{125}{I_p} \sqrt{\frac{t}{t'}}, \quad (9.29)$$

în care  $R_p$  este rezistența prizei de pământ, în  $\Omega$ ;

$I_p$  — curentul prin priză, în A;

$t'$  — durată regimului termic, în minute;

**Timpu de referință pentru verificarea la stabilitate termică a  
prizelor de pământ [64]**

Rezistivitatea solului [ $\Omega\text{m}$ ]	Durata $t$ , în min, pentru:	
	priză verticală $l \geq 1,5 \text{ m}$	priză orizontală
50	100	30
100	200	60
200	400	120
300	600	180

— pentru un regim termic cu timp nelimitat

$$R_p \leq \frac{1}{I_p} \sqrt{2\rho\lambda\theta}, \quad (9.30)$$

în care  $R_p$  este rezistența prizei de pământ, în  $\Omega$ ;

$I_p$  — curentul prin priză, în A;

$\rho$  — rezistivitatea solului, în  $\Omega\text{m}$ ;

$\lambda$  — conductivitatea medie a solului (dacă nu sînt date concrete, se consideră  $\lambda = 1,2$ ), în  $\text{W}/^\circ\text{C} \cdot \text{m}$ ;

$\theta$  — supratemperatura, în  $^\circ\text{C}$ .

Secțiunea conductoarelor de legare la pământ (neîngropate în pământ) trebuie astfel determinată încît temperatura lor să nu depășească  $200^\circ\text{C}$  în medii cu pericol de incendiu și  $300^\circ\text{C}$  cînd nu există acest pericol. Curenții maximi admiși în conductoarele de legare, astfel ca temperatura lor să nu depășească limita impusă, sînt dați în tabelul 9.30. Dacă timpul de deconectare  $t$  este diferit de 1 s, curentul admisibil  $I'$  se poate obține raportînd valoarea  $I$  din tabel la  $\sqrt{t}$ .

Tabelul 9.30

**Curentul maxim admis în conductoarele de legătură astfel ca temperatura lor să nu depășească  
 $200^\circ\text{C}$  ( $300^\circ\text{C}$ )**

Sec- țiunea conduc- torului [mm <sup>2</sup> ]	Curentul maxim admis timp nelimitat [A]			Curentul maxim admis timp de o secundă [A]		
	oțel	cupru	aluminiiu sau oțel- aluminiiu	oțel	cupru	aluminiiu sau oțel-aluminiiu
16	—	150 (180)	—	—	2 500 (3 000)	—
25	—	200 (240)	160 (190)	—	4 000 (4 800)	2 000 (2 400)
35	—	280 (330)	200 (240)	—	5 500 (6 600)	3 500 (4 200)
50	150 (180)	480 (570)	250 (300)	3 000 (3 600)	8 000 (9 600)	5 000 (6 000)
70	180 (210)	590 (700)	320 (380)	4 500 (5 400)	11 500 (13 500)	7 000 (8 400)
100	240 (280)	780 (930)	430 (510)	6 000 (7 200)	16 000 (19 000)	10 000 (12 000)
200	420 (500)	1 380 (1 650)	760 (910)	12 500 (15 000)	32 500 (39 000)	20 000 (24 000)



### 9.4.7. IZOLAREA SUPLIMENTARĂ DE PROTECȚIE

Izolarea suplimentară de protecție a devenit necesară datorită accidentelor generate de montarea greșită a instalațiilor de protecție prin legare la pământ sau la nul. Ea se aplică ca mijloc principal de protecție la utilajele electrice portabile dacă cu mijloace justificate tehnic și economic nu se poate aplica tensiunea redusă și ca mijloc suplimentar de protecție la protecția prin legare la pământ sau la nul în cazurile indicate în STAS 6119-78 și 6616-79. Această măsură de protecție se poate realiza prin:

- izolarea de protecție a utilajelor;
- izolarea de protecție a amplasamentului (locul de muncă).

Izolarea de protecție a utilajelor trebuie să reziste solicitărilor mecanice și termice impuse de desfășurarea proceselor de producție și se poate concretiza în:

- acoperirea cu un material izolant a tuturor părților conductive ale echipamentului, accesibile atingerii și în care în mod accidental ar putea intra sub tensiune;

- separarea prin piese izolante fixe a părților conductive accesibile atingerilor, de părțile care în mod accidental ar putea intra sub tensiune;

- izolarea dublă sau întărită a elementelor sub tensiune care în caz de defect pot pune sub tensiune elemente accesibile atingerilor.

Izolarea amplasamentului utilajelor constă în acoperirea cu materiale izolante a pardoselii și a elementelor metalice aflate în zona de manipulare și în legătură cu pământul. Zona de manipulare este spațiul delimitat de liberă mișcare a mâinilor omului aflat într-un anumit loc. Ea are următoarele dimensiuni:

- 2,3 m, pe verticală deasupra punctului considerat pe pardoseală;
- 1,25 m, în toate direcțiile pe orizontală;
- 0,50 m, pe verticală sub punctul considerat pe pardoseală.

Izolarea amplasamentului se va face respectând următoarele condiții:

- acoperirile cu material izolant vor avea o rezistență mecanică corespunzătoare, vor fi bine fixate pe suportul lor și vor avea o întindere suficientă, astfel încât atingerea echipamentului electric respectiv să nu fie posibil decât dacă se stă pe amplasamentul izolat;

- în cazul mai multor echipamente electrice care pot fi atinse simultan de pe un amplasament izolat, toate părțile lor metalice, care nu fac parte din circuitul curenților de lucru, se vor lega între ele.

Pentru izolarea amplasamentului se pot folosi cauciucul dielectric, lemnul uscat, material plastic sau alte materiale similare care pot rezista solicitărilor în condițiile reale de exploatare.

Rezistența  $R$  de izolare a amplasamentului trebuie să satisfacă relația:

$$R_{iz} \geq R_b \left( \frac{U_d}{U_{a adm}} - 1 \right) [\Omega], \quad (9.31)$$

mărimile având semnificațiile cunoscute.

### 9.4.8. EGALIZAREA POTENȚIALELOR

Dirijarea distribuției sau egalizarea potențialelor se folosește ca mijloc suplimentar de protecție la protecția prin legare la pământ sau la nul și costă în legarea între ele a carcaselor echipamentelor și a tuturor ele-

mentelor bune conducătoare de electricitate care se găsesc în zona de manipulare a omului, prin conductoare cu rezistențe electrice neglijabile.

Această metodă se aplică în locuri de muncă în care este posibilă apariția unor potențiale de valori diferite între diferite utilaje sau elemente de construcții în legătură cu pământul. Dacă omul atinge simultan două elemente metalice aflate la potențiale diferite, diferența acestor potențiale determină apariția unui curent care poate depăși valorile limită indicate în tabelul 9.1. Aducând punctele care pot fi atinse simultan de om la același potențial se împiedică apariția unui curent prin om, realizându-se astfel protecția prin egalizarea (dirijarea) potențialelor.

În exterior, instalația de egalizare a potențialelor se realizează cu ajutorul prizei de pământ orizontale îngropate în stratul superficial al solului și legate la instalația de legare la pământ care deservește echipamentele din zona respectivă.

#### 9.4.9. PROTECȚIA PRIN DECONECTAREA AUTOMATĂ A SECTORULUI DEFECT

Acest tip de protecție realizează — prin prevederea unor dispozitive speciale de protecție — deconectarea automată a sectorului defect în următoarele două situații:

- apariția unor tensiuni de atingere periculoase (*PATD*);
- apariția unor curenți de defect periculoși (*PACD*); se aplică ca măsură suplimentară de protecție, la protecția prin legare la pământ sau la nul, în cazul în care acestea nu prezintă siguranța realizării unor tensiuni de atingere sub valoarea maximă admisă.

1. *Protecția prin deconectarea automată la apariția tensiunii de defect* — *PATD*, se poate utiliza în orice fel de rețele și evită apariția unor tensiuni de atingere periculoase pe elementele metalice ale unei instalații, care nu fac parte din circuitele curenților de lucru.

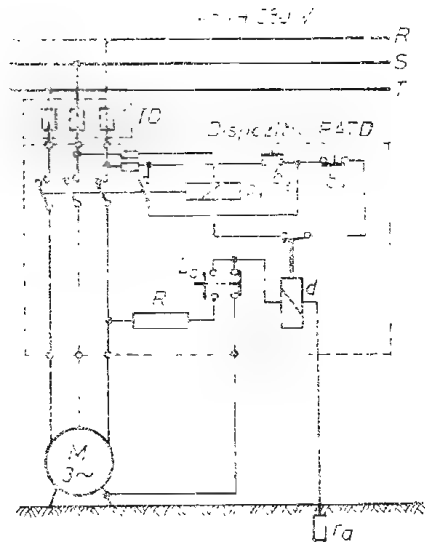


FIG. 9.15. Schema unei instalații PATD.

Schema instalației de protecție, prezentată în figura 9.15 cuprinde contactorul automat  $c_1$  al echipamentului electric, releul de protecție  $d_1$  care acționează asupra bobinei contactorului în cazul apariției unei tensiuni de defect, un dispozitiv de control al funcționării  $b_0$  și o priză auxiliară  $r_a$ . Rezistența prizei de pământ auxiliare trebuie să satisfacă relațiile:

$$r_a < 10 \, [\Omega] \quad (9.32)$$

și

$$r_a \leq \sqrt{\left(\frac{U_{aadm}}{I_{d0}}\right)^2 - X_0^2} - R \, [\Omega],$$

în care:  $U_{aadm}$  este tensiunea de atingere maximă admisă, în V;

$I_{dr}$  — curentul de defect care determină acționarea sigură a protecției, în A;

$R_b, X_b$  — rezistența, respectiv reactanța bobinei releului de protecție, în  $\Omega$ .

La aplicarea protecției *PATD* se vor respecta condițiile:

— conductorul de legare la priza auxiliară va fi izolat față de conductorul de protecție legat la carcasa utilajului și de alte elemente metalice care au contact electric cu utilajul, pentru a nu șunta bobina releului;

— priza de pământ auxiliară va fi separată de instalația de legare la pământ de protecție și va fi la o distanță de cel puțin 10 m de alte prize de pământ; rezistența ei de dispersie va fi de maximum 10  $\Omega$ ;

— protecția trebuie să asigure deconectarea utilajului în maximum 0,2 secunde.

2. *Protecția prin deconectarea automată la apariția curenților de defect — PACD*, se aplică numai în instalațiile electrice de curent alternativ și asigură declanșarea automată a alimentării cu energie electrică, pentru orice curent de defect egal sau mai mare cu o valoare dată. Ea funcționează pe baza acțiunii curenților ce însoțesc fenomenul dezechilibrării prin defect a receptoarelor electrice, schemele practice realizate împărțindu-se în două mari categorii:

- scheme care realizează o protecție diferențială;
- scheme care realizează sesizarea componentei homopolare (a curentului de defect).

În figura 9.16 se prezintă protecția *PACD* utilizând un transformator diferențial de curent. La apariția unui curent de defect, sistemul trifazat se dezechilibrează și în secundarul transformatorului diferențial *TCD* se stabilește un curent care excită bobina releului de curent  $\bar{d}_1$ , iar acesta prin contactul său normal închis întrerupe circuitul de alimentare a bobinei contactorului principal *c*. Schema mai cuprinde dispozitivul  $\bar{b}_1$  de control a protecției.

La aplicarea *PACD* se vor respecta următoarele condiții:

— carcasele tuturor utilajelor protejate se vor lega la pământ; rezistența instalației de legare la pământ se va calcula cu relația:

$$R_p \leq \frac{U_{adm}}{I_{ds}} [\Omega], \quad (9.33)$$

$U_{adm}$  și  $I_{ds}$  având semnificațiile date la relația 9.32;

— protecția trebuie să asigure deconectarea utilajului în cel mult 0,2 secunde.

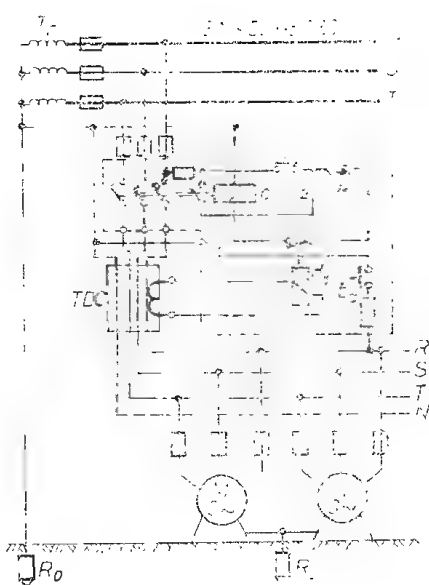


Fig. 9.16. Schema unei instalații PACD diferențială într-o rețea legată la pământ.

#### 9.4.10. DISPOZITIVE ELECTRONICE UTILIZATE ÎN PROTECȚIA ÎMPOTRIVA ELECTROCUTĂRII

Așa cum s-a arătat anterior, starea izolației rețelelor electrice cu neutrul izolat are o importanță deosebită în evitarea accidentelor prin electrocutare; menținerea rezistenței de izolație la un nivel ridicat contribuie la funcționarea corectă și fără pericole a instalațiilor electrice.

Scăderea bruscă a rezistenței de izolație a unei faze și în special existența unor defecte de izolație pe două faze ale rețelei, crează condiții deosebit de periculoase în exploatare; în ultimul caz protecția prin legare la pământ nu mai asigură micșorarea tensiunilor de atingere sub valorile maxime admise, protecția trebuind să fie asigurată de rețelele electromagnetice (siguranțe fuzibile) sau termice. Acționarea acestora nu este însă sigură, în multe cazuri curentul de defect fiind mai mic decât valoarea necesară acționării protecției maxime.

Ca urmare a apărut necesitatea construirii unor aparate care să asigure controlul permanent al rezistenței de izolație. În prezent, în acest scop se folosesc dispozitive electronice, care instalate în stațiile de transformare — semnalizează optic și acustic atunci când nivelul rezistenței de izolație scade sub anumite limite, sau comandă declanșarea întreruptorului rețelei, îndată ce a apărut un defect de izolație ce ar putea prejudicia securitatea personalului.

Majoritatea rețelor de scurgere utilizate în rețelele electrice cu neutrul izolat folosesc ca element de comandă tensiunea de deplasare ce apare în rețea în cazul defectelor de izolație asimetrice sau intensitatea unui curent continuu operativ (sub 5 mA), care se suprapune peste curentul alternativ de lucru al rețelei și trece prin locul defect. O prezentare detaliată a acestor relee este dată în lucrarea [20].

Aparatele bazate pe utilizarea tensiunii de deplasare, se utilizează frecvent pentru semnalizarea defectelor de izolație în rețelele de medie tensiune cu neutrul izolat. Folosirea tensiunii de deplasare ca element de comandă este corectă, deoarece curentul de scurgere care trece prin locul cu defect de izolație este proporțional cu tensiunea de deplasare. Dezavantajul principal al acestor relee constă în aceea că declanșarea lor depinde de parametrii uniform distribuți ai rețelei și la fiecare modificare a acestora trebuie refăcut reglajul sensibilității lor. În plus, acest tip de protecție nu este selectiv, nedând nici un indiciu pentru identificarea liniei defecte.

Releele de scurgere bazate pe folosirea curentului continuu operativ se utilizează în rețelele de joasă tensiune și măsoară rezistența rezultantă a izolației prin metoda punții Wheatstone sau prin metoda voltampermetrică. Ele nu sînt influențate de capacitatea rețelei, dar sînt în mare măsură influențate de valorile rezistențelor de izolație ale fazelor rețelei, uneori în mai mare măsură decât de rezistența de defect. Pe acest principiu sînt construite releele de tip RUV și UKSIO utilizate în rețelele electrice cu neutrul izolat, cu tensiunea de 380 V, din exploatarea miniere.

Ținînd seama de avantajele și dezavantajele folosirii uneia dintre metodele enunțate anterior, s-au construit relee de scurgere care folosesc simultan cele două principii. În acest fel se asigură o mai mare concordanță între momentul acționării protecției și gravitatea pericolului cauzat de curentul de defect. Rezistența de izolație a rețelei protejate este introdusă ca o rezistență catodică în circuitul unui tub electronic, iar tensiunea de

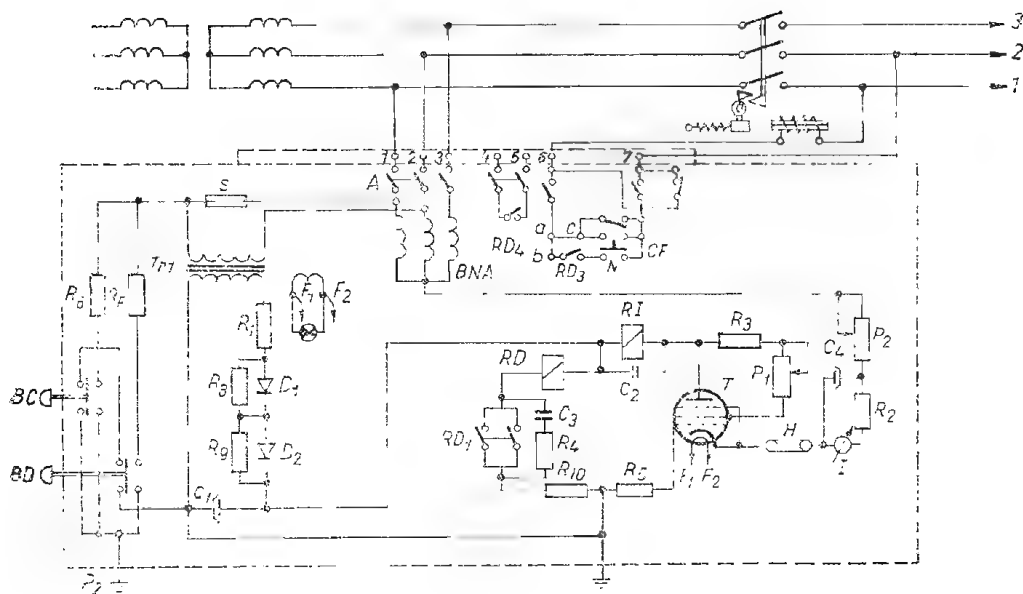


Fig. 9.17. Schema de principiu a releului de scurgere tip RSN-1.

deplasare ce apare la defecte nesimetrice este aplicată pe grila de comandă a aceluiași tub. Pe acest principiu s-au construit în țară aparatele tip RSN-1 și RSA-1 și variantele lor îmbunătățite RSN-2 și RSA-2.

La punerea sub tensiune a aparatului (fig. 9.17), în cazul unei rețele cu izolație bună, prin tubul electronic  $T$  nu circulă curent deoarece circuitul tubului conține în serie cu rezistența catodică și rezistența de izolație, care s-a presupus foarte mare. La o slăbire uniformă a izolației, această rezistență se micșorează, fapt care permite trecerea unui curent prin tub. La o scădere a izolației sub limita admisă, curentul prin tub ajunge la valoarea de acționare a releului  $RI$ , care își închide contactele normal deschise ( $RI_1$ ) aflate în circuitul releului de declanșare al întreruptorului liniei.

La un defect de izolație pe una din faze, circuitul tubului electronic se închide de asemenea prin locul defect. În plus, în acest caz apare și tensiunea de deplasare a punctului nul care se aplică între catod și grila de comandă; alternanța pozitivă a acestei tensiuni micșorează negativarea inițială, deblocând tubul și acționând releul. În acest fel s-a obținut mărirea sensibilității aparatului față de defectele de izolație monofazate.

Releul de scurgere RSN-1 comandă declanșarea întreruptorului principal în cazul apariției unui defect de izolație pe una din faze având rezistențele:

3 k $\Omega$ /fază la rețele de 127 V; 7 k $\Omega$ /fază la rețele de 380 V;  
4,5 k $\Omega$ /fază la rețele de 220 V; 11 k $\Omega$ /fază la rețele de 660 V.

Releele RSN-2 și RSA-2 au caracteristici îmbunătățite prin faptul că pragul de acționare la defecte monofazate poate fi reglat independent de pragul de reglare pentru acționare la defecte trifazate. Pragul de acționare a releului la defecte de izolație simetrice poate fi reglat între 6 ÷ 18 k $\Omega$ /fază, iar la defecte monofazate, aparatul acționează la un curent de defect de 20 ÷ 35 mA.

### 10.1. GENERALITĂȚI

Conform [29], prin instalație de protecție contra trăsnetului (IPT) se înțelege instalația care servește pentru protecția împotriva efectelor directe ale loviturilor de trăsnet și care este alcătuită din următoarele părți principale :

- elemente de captare ;
- elemente de coborîre ;
- priză de pământ.

Este obligatorie prevederea cu IPT, normală sau întărită, a următoarelor categorii de construcții :

- clădiri și instalații tehnologice în aer liber încadrate în categoria A sau B de pericol de incendiu (tab. 4.1) ;
- clădiri și instalații tehnologice în aer liber încadrate în categoria C de pericol de incendiu, în care se utilizează sau depozitează materiale combustibile (dacă sînt situate în zone cu indicele  $K$  mai mare de 30 — fig. 10.1) ;
- clădiri care adăpostesc încăperi cu aglomerări de persoane (indiferent la nivelul la care acestea sînt situate) ;
- clădiri care reprezintă sau adăpostesc valori de importanță națională ;
- clădiri de locuit cu mai mult de 12 niveluri, hoteluri și cămine dacă sînt clădiri înalte (definite conform N.P. 22—77) ;
- construcții și instalații tehnologice în aer liber care sînt cel puțin de două ori mai înalte decît construcțiile sau plantațiile din jur și au cel puțin 10 m înălțime (coșuri de fum, silozuri, turnuri etc) ;
- construcții și instalații tehnologice în aer liber amplasate izolat, în zone cu  $K > 30$  ; cabane sau construcții similare cu înălțimea de cel puțin 10 m, clădiri de călători de categoriile III, IV și V de pe liniile principale de cale ferată etc ;
- clădiri care prezintă importanță pentru diverse domenii din economia națională ;
- depozite deschise de materiale și substanțe din clasele de periculozitate P.3, P.4 și P.5 (conform N.P. 22—77) dacă se găsesc în zone cu  $K > 30$  ;
- grajduri pentru animale mari de rasă, indiferent de capacitate ;
- grajduri pentru animale mari, cu o capacitate de peste 200 capete sau cu o capacitate de peste 100 capete amplasate în zona cu  $K > 30$  ;
- alte cazuri bine justificate de proiectant.

Construcțiile și instalațiile tehnologice în aer liber vor fi prevăzute cu IPT normale, proiectate și executate conform prevederilor indicate în continuare. Pentru IPT întărite (clădiri de categoriile A și B sau grad IV și V rezistență la foc și construcții speciale), se vor aplica restricțiile prevăzute în [29].

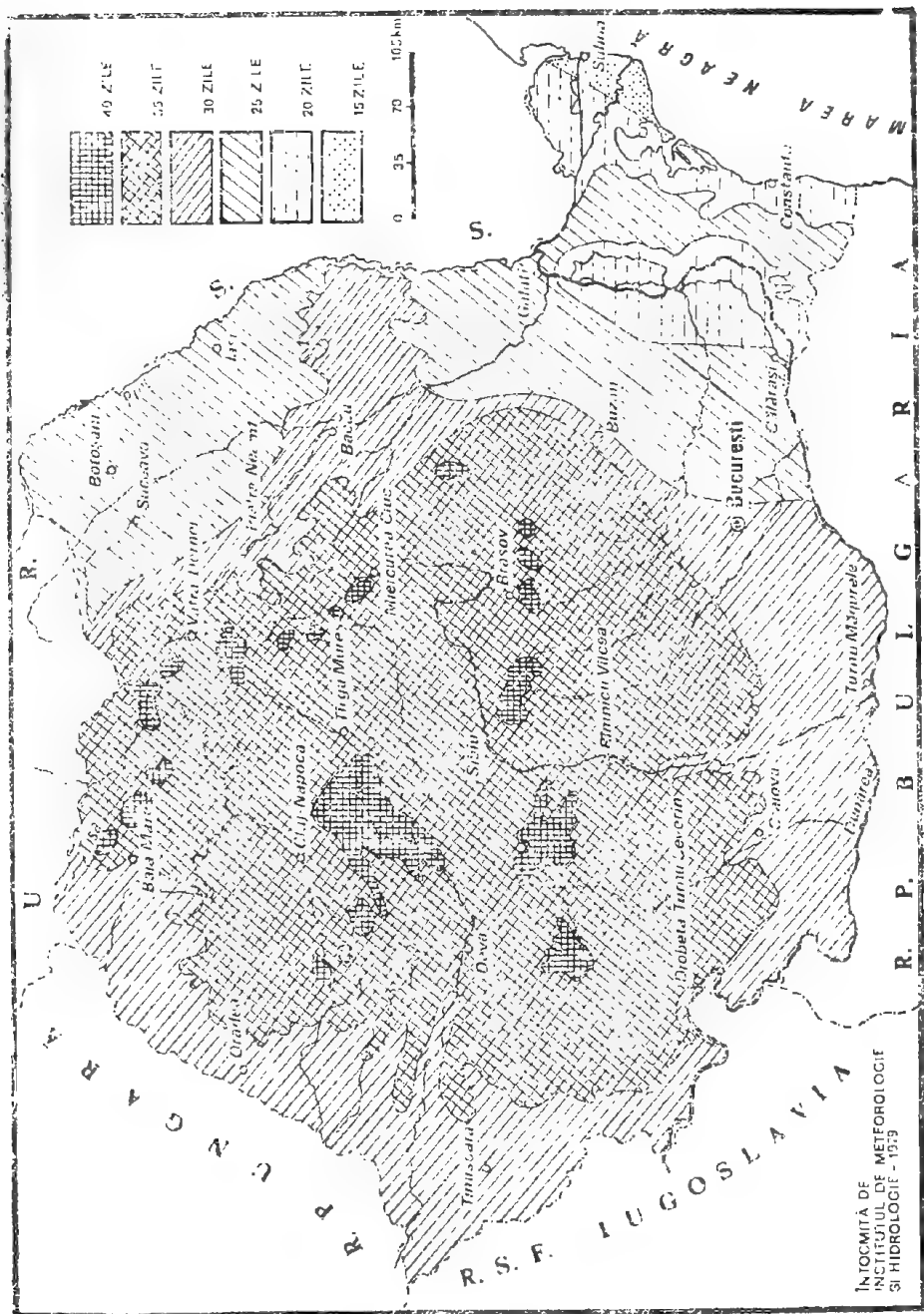


Fig. 10.1. Repartiția numărului anual de zile cu oraje (indicele K) pe teritoriul R. S. României (1949 - 1978).

## 10.2. CONDIȚII PENTRU INSTALAȚIILE DE PROTECȚIE CONTRA TRĂSNETULUI

### 10.2.1. MATERIALE ȘI DIMENSIUNI

La realizarea IPT se vor utiliza cu prioritate elementele metalice conducătoare electric ale construcțiilor (stâlpii metalici, armătura betonului, acoperișurile din tablă, elementele metalice ale instalațiilor) dacă corespund concomitent următoarelor condiții:

- prezintă continuitate electrică sigură în timp (legăturile între diferite părți sînt executate prin sudură cu o lungime de minimum 5 cm sau prin șuruburi dacă legătura are cel puțin 10 cm<sup>2</sup> și este executată cu două șuruburi M8 sau cu un șurub M10);
- au dimensiunile (secțiuni, diametre, grosimi) indicate în tabelul 10.1;
- prezintă rezistență mecanică și rezistență la coroziune.

Tabelul 10.1

**Materiale și secțiuni minime utilizate în instalațiile de protecție contra trăsnetului [29]**

Nr. crt.	Utilizare	Felul montajului	Materiale Dimensiuni minime	STAS	Observații
0	1	2	3	4	5
1	Conducte principale de captare sau de coborîre	În exteriorul clădirii, în montaj aparent sau îngropat	Oțel bandă zincat $s = 50 \text{ mm}^2$ ; $g = 2,5 \text{ mm}$	908-79	În cazul montajului îngropat în elemente de construcție (zid, beton), nu va fi zincat.
			Oțel rotund zincat Ø8	889-76 3732-76	
			Aluminiu bară $s = 100 \text{ mm}^2$ ; $g = 5 \text{ mm}$	3033-78	
		Înglobat în construcție	Oțel de armare Ø8	438/1-74	Nu se admite montarea îngropată în elemente de construcție.
		În interiorul clădirii	Oțel rotund zincat Ø5	889-76 3732-76	
			Oțel funie zincat $s = 16 \text{ mm}^2$	3734-71	
			Aluminiu rotund Ø 5	3322-78	Nu se admite îngropat neprotejat în zid sau beton; se va monta protejat în tub.



Tabelul 10.1 (continuare)

0	1	2	3	4	5
2	Elemente metalice ale construcției, în calitate de conducte principale de captare sau de coborîre		Tablă zincată (sub formă de învelitori, acoperișuri, jgheaburi, burlane) $s = 100 \text{ mm}^2$ ; $g = 0,5 \text{ mm}$		
3	Prize de pământ naturale	În pământ	Oțel cu $s = 100 \text{ mm}^2$ totală Oțel de armare $\varnothing 8$ sau $\varnothing 5$ la betoane pretensionate sau pre-comprimate		
4	Prize de pământ artificiale — verticale	În pământ	Oțel țevă $\varnothing 40$ ; $60$ ; $75$ — protejat $g = 3,5 \text{ mm}$ ; — neprotejat $g = 4 \text{ mm}$	7657-77 404/2-71 4102-79	Lungimi recomandate pentru electrozi: $\varnothing 40$ , $L = 1,5 \text{ m}$ ; $\varnothing 60$ , $L = 2 \text{ m}$ ; $\varnothing 75$ , $L = 3 \text{ m}$ .
			Oțel cornier zincat $s = 100 \text{ mm}^2$ — protejat $g = 4 \text{ mm}$ ; — neprotejat $g = 6 \text{ mm}$ ;	7836/1-77	
			Oțel bandă $s = 100 \text{ mm}^2$ — protejat $g = 4 \text{ mm}$ ; — neprotejat $g = 6 \text{ mm}$ ;	908-79	
			Oțel rotund — protejat $\varnothing 11$ ; — neprotejat $\varnothing 14$ ;	889-76	
	— orizontale		Oțel de armare $\varnothing 8$	438/1-74	

**Observații.** 1. Conductele și electrozii îngropați în pământ pentru prize cu o durată de cel mult 4 ani, pot fi din oțel nezincat, fără mărirea grosimii la valorile impuse pentru oțelul neprotejat.

2. Secțiunile minime din tabel se vor dubla în cazul în care conducta de captare sau de coborîre este unică și canalizează întreaga descărcare a trăsnetului.
3. Conductele montate în interiorul clădirii pot fi prelungite în exteriorul clădirii (de ex. pentru legarea antenelor R sau TV).
4. La clădirile de gradele IV sau V de rezistență la foc și la construcțiile de categoria A, B sau C de pericol de incendiu, se interzice folosirea drept conducte principale de captare sau coborîre a elementelor de la pct. 2 din tabel.
5. Conductele îngropate în pământ, de legătură între prize de pământ, au grosimile și secțiunile minime indicate pentru electrozii orizontali.

Se admite realizarea IPT cu elemente special prevăzute în acest scop, executate din materiale avînd dimensiunile indicate în tabelul 10.1, numai dacă elementele metalice ale construcției:

- nu corespund cerințelor;
- nu se găsesc în locurile necesare;
- nu este permis a fi utilizate ca elemente ale IPT (se corodează rapid sau pot fi demontate ulterior);
- nu permit obținerea unei protecții sigure la trăsnet.

Utilizarea altor materiale decît cele prevăzute în tabelul 10.1 se admite numai în cazuri excepționale, bine justificate; drept elemente de fixare, susținere, racord etc, se vor folosi accesorii de montaj prevăzute în cataloagele de detalii tip (de ex. catalogul IPC). În lipsa acestor elemente se admite și utilizarea de elemente netipizate, cu condiția ca ele să asigure calitățile impuse elementelor tipizate.

IPT realizate cu elemente special prevăzute în acest scop se vor amplasa de regulă pe construcția de protejat. Montarea IPT independent de construcția de protejat se admite numai în cazul construcțiilor de categoria A sau B și numai dacă această soluție este mai avantajoasă din punct de vedere economic sau dacă nu pot fi realizate condițiile impuse IPT montate pe astfel de construcții.

## 10.2.2. DISTANȚE MINIME ADMISE

### 1. Distanța între două puncte de apropiere ale unei conducte a IPT

Distanța minimă admisă între două puncte se va calcula cu relația

$$D \geq \frac{1}{10} \cdot L \text{ [m]}, \quad (10.1)$$

în care  $L$  este lungimea buclei conductei IPT, în metri (fig. 10.2).

Dacă între punctele de apropiere se găsește un material izolant electric, acest strat va intra în calculul distanței cu de 5 ori grosimea lui.

### 2. Distanța de la conductele IPT la elementele metalice ale construcțiilor

Distanța minimă admisă față de elementele metalice ale construcției care nu au fost incluse în IPT este

$$D \geq 0,3R + \frac{L}{10 \cdot n} \text{ [m]}, \quad (10.2)$$

în care:  $R$  este rezistența prizei de pămînt a IPT, în ohmi;

$L$  — lungimea conductei de coborîre a IPT de la locul de apropiere pînă la locul de intrare în pămînt, în m;

$n$  — numărul conductelor de coborîre.

Dacă între punctele de apropiere se găsește un material izolant, acesta va intra în calcul cu de 5 ori grosimea lui. În cazul în care distanța minimă dată de relația (10.2) nu poate fi respectată, toate elementele metalice ale



Fig. 10.2. Tipuri uzuale de bucle în construcția IPT.

construcției care intră în zona interzisă se vor lega direct sau prin aparate de protecție contra supratensiunilor la IPT.

### 3. Distanța de la conductele IPT până la instalațiile electrice

Distanța minimă admisibilă se calculează cu relația (10.2). Dacă aceasta nu poate fi respectată, se aplică aceleași măsuri ca la punctul 2. Fac excepție și nu necesită respectarea unor anumite distanțe față de elementele IPT, instalațiile electrice din interiorul clădirilor complet metalice, cu schelet metalic sau din beton armat folosite drept elemente ale IPT precum și instalațiile electrice înglobate direct în structurile din beton armat de suprafață mare, dacă priza de pământ a IPT și a instalației electrice este comună.

Consolele de acoperiș ale instalațiilor electrice aeriene se vor lega la IPT numai dacă ele constituie punctele cele mai înalte ale acoperișului. În acest caz, legătura se va face indirect, printr-un eclator montat între consolă și elementul IPT, cu spațiul disruptiv de cca. 30 mm. Dacă clădirile au acoperiș din material combustibil, se vor folosi descărcătoare de tip închis, iar conductele IPT se vor proteja cu materiale izolante incombustibile pe o distanță de cca. 1 m în jurul consolei (dacă conductele aeriene sînt izolate, măsura nu mai este necesară).

Distanța minimă admisă între conductele IPT și conductele instalațiilor aeriene, la devierea lor maximă este de 0,5 m.

### 4. Distanța de la conductele IPT la elementele de construcție

Distanța minimă admisă de la conductele IPT la elementele de construcție va fi de:

- 60 cm, până la coama acoperișurilor din materiale combustibile;
- 40 cm, până la suprafața acoperișurilor din materiale combustibile;
- 20 cm, până la pereți din materiale combustibile.

Dacă aceste distanțe nu pot fi respectate, pe porțiunea respectivă se vor monta materiale incombustibile și izolante electrice; distanța la elementele de construcție incombustibile nu se normează.

## 10.2.3. PROTEJAREA IPT

### 1. Protecția contra coroziunii

Elementele unei IPT executate din oțel vor fi protejate prin zincare la cald (inclusiv șuruburile pentru îmbinări și accesorii de montaj). Îmbinările din pământ se acoperă cu un strat de bitum, iar întreaga IPT aflată deasupra pământului și până la 30 cm sub nivelul solului (cu excepția conductelor înglobate în beton și a celor din aluminiu cloxat), va fi protejată după instalare prin aplicarea unui grund de miniu de plumb și prin vopsire cu vopsea rezistentă la intemperii.

### 2. Protecția contra deteriorărilor mecanice

Conductele IPT amplasate în locuri în care ar putea fi supuse deteriorărilor și pe înălțimea de 1,5 m de la sol până la 0,3 m sub nivelul solului, vor fi protejate mecanic prin profile din oțel laminat sau din tablă de oțel. Se interzice utilizarea de tuburi metalice pentru protecția mecanică a conductelor IPT.

### 3. Protecția contra efectelor secundare ale trăsnetului

La construcțiile din categoriile A și B de pericol de incendiu și la instalațiile exterioare pentru lichide sau gaze combustibile se vor lua măsuri și pentru asigurarea protecției contra efectelor secundare ale trăsnetului [29].

## 10.3. ELEMENTELE INSTALAȚIEI DE PROTECȚIE

### 10.3.1. ELEMENTE DE CAPTARE

Clădirile și instalațiile tehnologice exterioare au realizate prin propria construcție elementele de captare în următoarele condiții:

a) acoperișul este plat sau practic plat (diferența de nivel între coama și marginea acoperișului de cel mult 1 m), dacă clădirile sînt:

- cu structura complet metalică, avînd continuitatea electrică asigurată prin îmbinarea corespunzătoare a diverselor elemente — figura 10.3;
- de categoria I, II sau III de rezistență la foc cu încăperi de categoria D sau E de pericol de incendiu, cu acoperișul din tablă cu grosimea minimă de 0,5 mm îmbinată prin fălțuire, nituire, lipire sau alte procedee, prin care se realizează o continuitate electrică sigură, sau cu acoperișul din materiale izolante electric susținute pe schelete metalice pe care sînt prinse prin elemente metalice montate la distanțe fixe;

b) instalațiile tehnologice exterioare au structura complet metalică, cu continuitate electrică asigurată prin modul de îmbinare.

Dacă condițiile menționate nu sînt îndeplinite, construcțiile vor fi prevăzute cu conducte de captare, montate uzual pe construcția de protejat. În prezent se utilizează trei sisteme de dispunere a conductelor de captare:

- sistem rețea;
- sistem de coamă;
- sistem tije (captator).

Elementele metalice ale acoperișului (cornișe metalice, jgheaburi pentru ploaie etc) pot fi folosite drept conducte de captare dacă au o continuitate electrică sigură, secțiunea de minimum 100 mm<sup>2</sup> și grosimea de cel puțin 0,5 mm.

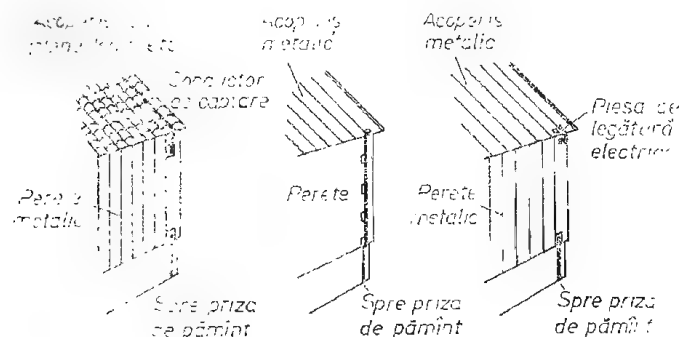


Fig. 10.3. Clădiri cu structură metalică utilizată pentru realizarea elementelor de captare.

Elementele metalice ale construcțiilor care ies din planul acoperișului se includ în sistemul de captare. Dacă aceste elemente nu sînt metalice, se prevăd cu o ramă metalică din oțel (rotund sau cornier) cu secțiunea minimă de 100 mm<sup>2</sup> care se va lega la cea mai apropiată conductă de captare.

### 10.3.2. ELEMENTE DE COBORÎRE

Ca elemente de coborîre se utilizează în primul rînd elementele metalice ale construcției respective și anume:

- scheletul metalic, armăturile metalice sau pereții metalici ai construcției, care pot înlocui numărul de coborîri principale în proporție de 100% ;
- alte elemente metalice (conducte de apă, de încălzire, scării de incendiu, buriane etc.), care pot înlocui numai 50% din numărul de coborîri necesar, cu condiția continuității electrice și a unei secțiuni minime de 100 mm<sup>2</sup>. Aceste elemente nu pot fi utilizate la construcțiile din categoria A, B și C cu pericol de incendiu și la clădirile de gradele IV și V de rezistență la foc.

Nu se admite utilizarea conductelor de gaze naturale sau de lichide combustibile drept coborîri pentru IPT, chiar dacă din motive de siguranță ele trebuie legate la această instalație.

Dacă numărul de coborîri nu poate fi asigurat prin elementele metalice ale construcției, vor fi prevăzute conducte speciale de coborîre instalate pe exteriorul clădirii, cu respectarea următoarelor condiții:

- traseele se vor alege astfel încît să continue cît mai direct, pe drumul cel mai drept, traseele conductelor de captare; este interzisă însă trecerea conductelor de coborîre prin luminatoare, balcoane, logii etc.;
- vor fi instalate pe clădire cît mai simetric posibil;
- vor fi instalate de regulă aparent pe clădire; se admite și pozarea îngropată sub materialul de finisaj al fațadelor a 50% din coborîri numai la construcții executate din lemn, cărămidă, beton nearmat, dacă acestea necesită cel puțin 2 coborîri și dacă îmbinările conductelor îngropate se execută prin sudură, iar conductele nu sînt în contact direct cu materiale combustibile;
- montarea în interiorul clădirii se admite numai în cazuri excepționale [29].

### 10.3.3. PRIZA DE PĂMÎNT

Priza de pămînt se realizează utilizînd cu prioritate prizele de pămînt naturale ale construcției respective și cele aflate la cel mult 10 m distanță de construcție, ca :

- elementele metalice ale construcției în contact cu pămîntul, direct sau prin fundații de beton și armăturile metalice ale construcțiilor din beton armat, cu condiția ca secțiunile minime să fie cele date în tabelul 10.1 ;
- coloanele de adîncime ale sondelor ;

— conductele metalice pentru fluide incombustibile, îngropate în pământ, cu condiția ca elementele lor izolante să fie șuntate cu elemente conductoare electrice având rezistență neglijabilă ( $s = 16 \text{ mm}^2 \text{ Cu sau } 50 \text{ mm}^2 \text{ Ol}$ );

— învelișurile metalice și armăturile metalice ale cablurilor subterane, cu condiția ca legăturile de continuitate electrică la cutiile de îmbinare și ramificație să aibă cel puțin secțiunea de  $4 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$  la secțiuni ale învelișului metalic al cablului de maximum  $6 \text{ mm}^2$  și respectiv  $10 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$  la secțiuni de  $10 \text{ mm}^2$ .

Se interzice folosirea drept priză de pământ naturală a învelișurilor de aluminiu ale cablurilor și conductelor tehnologice pentru transportul fluidelor calde sau combustibile.

Se admite folosirea prizelor de pământ artificiale pentru obținerea valorii necesare rezistenței de dispersie numai dacă nu se dispune de prize de pământ naturale sau dacă prizele existente nu asigură realizarea rezistenței de dispersie normată; materialele pentru priza de pământ vor îndeplini condițiile din tabelul 10.1.

În cazul realizării prizei de pământ artificiale a IPT cu electrozi verticali, aceștia vor fi distribuiți cât mai uniform în jurul clădirii pe conturul ei, legarea coborîrilor la priză făcându-se prin intermediul conductei comune ce unește electrozii. Legăturile conductelor de coborîre la priza de pământ se vor face de regulă în pământ, în afara construcției respective.

Priza de pământ a IPT poate fi comună cu priza de pământ a următoarelor categorii de instalații:

- instalații electrice cu tensiuni sub și peste  $1 \text{ kV}$ ;
- instalații pentru firme și reclame luminoase;
- instalații pentru aparate medicale de joasă și înaltă tensiune;
- instalații de cinematograf;
- alte instalații admise de prescripțiile tehnice departamentale.

Rezistența de dispersie a prizei de pământ comune va avea cea mai mică valoare cerută pentru categoriile de instalații respective. Dacă priza de pământ se folosește în comun cu instalații electrice cu tensiune peste  $40 \text{ V c.a. sau } 65 \text{ V c.c.}$ , rezistența de dispersie a prizei de pământ comune va fi de cel mult  $1 \text{ ohm}$  (se admit  $4 \text{ ohmi}$  dacă rezistivitatea solului este mai mare de  $200 \text{ ohmi} \cdot \text{m}$  iar pe partea de joasă tensiune se aplică protecția prin legare la nul).

Dacă nu se poate realiza valoarea cerută pentru rezistența prizei comune, priza de pământ a IPT se poate executa separat cu următoarele valori:

- $5 \text{ ohmi}$ , la prize de pământ naturale;
- $10 \text{ ohmi}$ , la prize de pământ artificiale.

Distanța de la elementele neizolate ale prizei de pământ a IPT la alte prize de pământ va fi de cel puțin  $5 \text{ m}$ . Dacă la o distanță mai mică de  $10 \text{ m}$  de la priză trec conducte de legare la pământ aparținând altor instalații, aceste legături vor fi executate cu conducte izolate montate în tuburi de protecție nemetalice sau cu cabluri cu izolație corespunzătoare unei tensiuni de  $1000 \text{ V}$ .

În general, pentru IPT se prevede o singură priză de pământ la care se leagă toate elementele de coborîre. Dacă din motive justificate această condiție nu poate fi îndeplinită, se admite legarea fiecărei coborîri la o

priză de pământ artificială locală avînd rezistența de dispersie de cel mult 30 ohmi. Aceste prize nu vor fi amplasate sub intrările clădirilor cu aglomerări de persoane și sub locurile cu circulație pietonală intensă.

#### 10.4. PROIECTAREA ȘI EXECUTAREA IPT

Proiectarea unei instalații de protecție contra trăsnetului constă în alegerea soluției privind compunerea și moduli de execuție ai instalației, inclusiv materialele și dimensiunile adoptate, astfel încît să se asigure protecția construcției sau instalației vizate, precum și rezistența mecanică, stabilitatea termică și la coroziune, aspectul arhitectonic și un cost cît mai redus.

Datele de proiectare necesare sînt planurile acoperișului și fațadelor construcției, cu indicarea detaliilor care interesează IPT și anume:

- la acoperiș: formă, înclinare, construcții proeminente, materiale de acoperire, elemente metalice care pot fi folosite de IPT;

- pe și în construcție: elementele metalice de construcții și alte categorii de instalații, care pot fi legate la IPT;

- în pămînt: elemente de construcții sau alte categorii de instalații, care pot fi utilizate ca prize naturale de pămînt sau care trebuie legate la priza artificială de pămînt;

- elementele de construcții și instalații sau acoperirile naturale din vecinătate care favorizează căderea trăsnetelor și care se au în vedere la proiectarea IPT.

Principalele etape de calcul (pentru protecția construcțiilor cu caracter special se va avea în vedere și [29]) sînt următoarele:

##### 10.4.1. ELEMENTELE DE CAPTARE








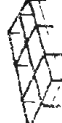



Construcțiile vor fi prevăzute cu conducte speciale de captare numai dacă nu sînt îndeplinite condițiile menționate în par. 10.3.1. Materialele și dimensiunile conductelor de captare se vor alege conform indicațiilor din tabelul 10.1.

Elementele de captare se vor monta, de regulă, pe acoperișul construcțiilor de protejat, în locurile în care probabilitatea loviturilor directe de trăsnet este cea mai mare (pe coama acoperișului, pe frontoane, pe elementele de construcție proeminente). Distanța dintre reazeme va fi de cca. 1,5 m iar înălțimea reazemelor va asigura distanța impusă față de materialul acoperișului conform par. 10.2.2.


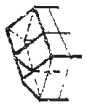





Tipul sistemului de dispunere a conductelor de captare pe acoperiș se alege după forma și tipul acoperișului astfel (tabelul 10.2):

- sistemul rețea se folosește pentru acoperișurile plate sau practic plate cu 1 sau 2 pante (versante) la care coama acoperișului depășește marginea acestuia cu cel mult 1 m;

Indicații pentru dispunerea conductelor de captare pe tipuri uzuale de acoperișuri și stabilirea numărului de coborâri [29]

Nr. crt.	Tipul acoperișului	Dimensiunile acoperișului Lățimea L Lungimea L		Dispunerea conductelor de captare și numărul coborârilor	
		Lățimea l		$\leq 20$ m	$> 20$ m
1	A. Acoperișuri plate (terasă cu 1 sau 2 versante) cu diferența de nivel între coamă și marginea acoperișului sub 1 m.	$\leq 12$ m	2 coborâri 	3 coborâri 	4 coborâri 
2		12 m — 20 m	4 coborâri 	6 coborâri 	8 coborâri 
3		20 m — 40 m	—	8 coborâri 	10 coborâri 
4	B. Acoperișuri cu pante (cu 2 sau 4 versante) cu diferența de nivel între coamă și marginea acoperișului peste 1 m	$\leq 12$ m	2 coborâri 	3 coborâri 	4 coborâri 

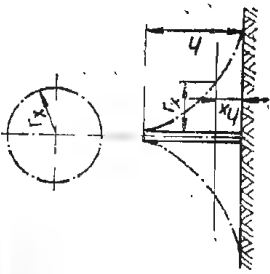
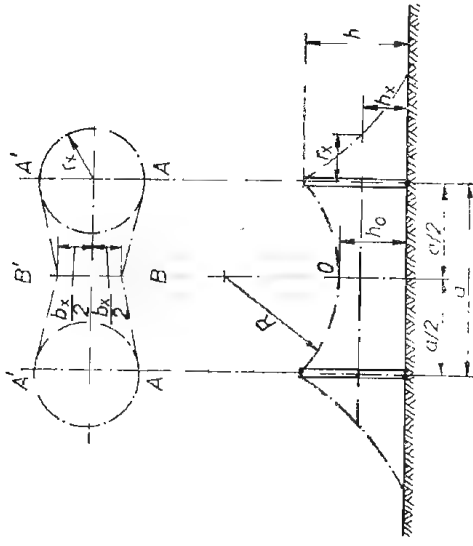


5	12m—20m	4 coborîri 	6 coborîri 	8 coborîri 
6	20m—40m	— 	8 coborîri 	10 coborîri 
7	C. Acoperișuri cu sheduri			

#### Observații.

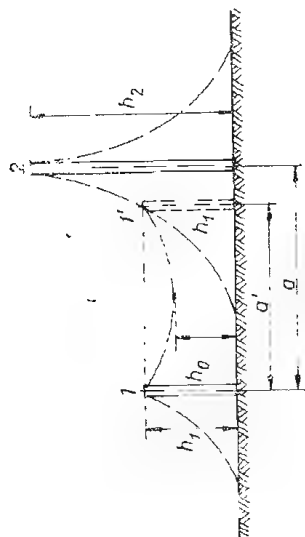
- La clădiri cu lățimi peste 40 m, pentru fiecare 20 m în plus se va prevedea câte o coborîre montată pe fiecare din cele două lățimi ale clădirii.
- La clădiri cu lungimi mai mari decît cele din tabel pt. fiecare 20 m în plus se va prevedea câte o coborîre la clădiri cu lățime sub 12 m și câte 2 coborîri la clădiri cu lățimi peste 12 m plasate pe o parte și pe alta a clădirii.
- Schemele rețelelor de captare vor avea ochiuri de maxim 20 m  $\times$  20 m la IPT normale și de 10 m  $\times$  10 m la IPT întărite.
- La clădiri cu IPT normale se admite și distanța de 24 m între coborîri dar numai la clădiri cu înălțimea pînă la 20 m și cu lungimea de cel mult 48 m.
- La clădiri cu unghiul  $\alpha \leq 30^\circ$  se vor prevedea conducte de captare și pe marginea acoperișului.
- La construcțiile cu sheduri, coamele shedurilor extreme și coamele shedurilor intermediare distanțate la cel mult 12 m vor fi prevăzute cu conducte de coamă. Dacă muchiile coamelor sînt metalice ele pot înlocui conductele de coamă. Toate conductele de coamă se vor racorda la coborîri distanțate la cel mult 20 m așa cum se vede în figură.
- Distanța între oricare din punctele acoperișului și conductele rețelei de captare va fi de cel mult 10 m pt. IPT normale și de cel mult 5 m la IPT întărite.

Stabilirea zonei de protecție pentru diferite IPT [29]

Nr. crt.	Tip captor	Schema	Relații de calcul	
			2	3
0	1			
1	Un captor vertical		$h \leq 30 \text{ m} \quad r_x = \frac{1,6(h - h_x)}{1 + \frac{h_x}{h}}$ $h > 30 \text{ m} \quad r_x = \frac{8,8}{\sqrt{h}} \cdot \frac{h - h_x}{1 + \frac{h_x}{h}}$	
2	Două captoare verticale egale la distanța „a”		<p><math>r_x</math> ca la pct. 1</p> $h_0 = h - \frac{a}{7}$ $R = 1,82a$ $b_x = \frac{3,2(h_0 - h_x)}{1 - \frac{h_x}{h_0}}$ $h_0 = h - \frac{a\sqrt{h}}{33,5}$ $R = \frac{a}{2} \sqrt{1 + \frac{370,56}{h}}$ $b_x = \frac{17,6}{\sqrt{h_0}} \cdot \frac{h_0 - h_x}{1 - \frac{h_x}{h_0}}$	

3

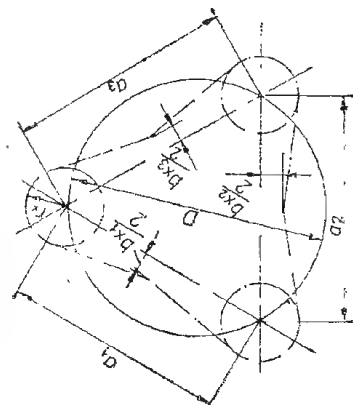
Donă captoare verticale inegale la distanța  $a$



— pt. zona exterioră ca la pct. 1;  
— pt. zona interioară ca la pct. 2 cu distanța între captoarele egale „ $a'$ ”

4

Trei captoare verticale egale amplasate în vîrfurile unui triunghi



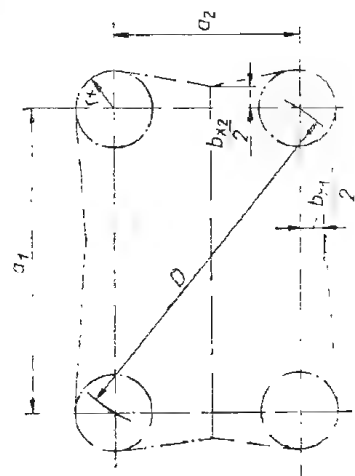
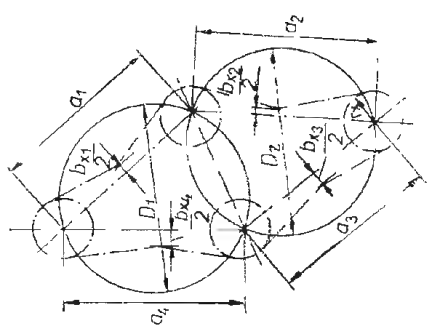
— în afara triunghiului ca la pct. 2 fiind donă cîte donă cele 3 captoare;  
— în interiorul triunghiului, înălțimea de protecție este:

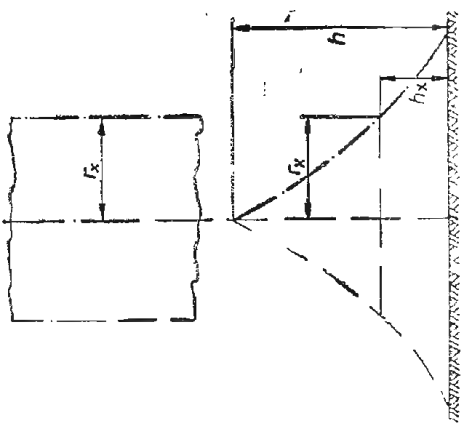
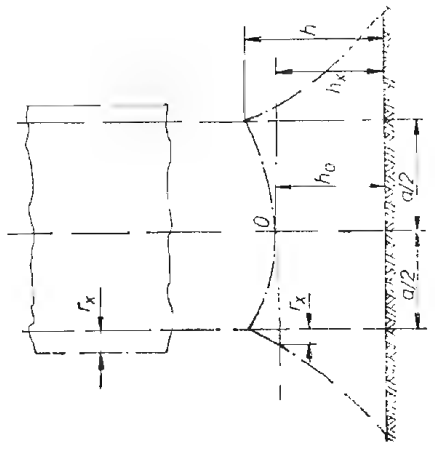
$$h \leq 30 \text{ m} \quad h_0 = h - \frac{D}{8};$$

$$h > 30 \text{ m} \quad h_0 = h - \frac{D\sqrt{h}}{44}$$

$D$  este diametrul cercului circumscris triunghiului.

Tabloul 10.3 (continuare)

0	1	2	3
5	Patru captoare verticale egale amplasate în virfurile unui dreptunghi		<p>- ca la punctul 4, în care <math>D</math> este diagonală dreptunghiului</p>
6	Patru sau mai multe captoare verticale egale amplasate neregulat		<p>- se împarte zona în triunghiuri avînd o latură comună și se rezolvă ca la pct. 4          -- dacă captatoarele sînt inegale se rezolvă ca la pct. 3 combinat cu pct. 4</p>

7	Un captator orizontal suspendat la înălțimea $h$		<p>- pt. construcții: <math>r_x = \frac{1,2(h - h_x)}{1 + \frac{h_x}{h}}</math></p> <p>- pt. I.E.A.: <math>r_x = \frac{0,8(h - h_x)}{1 + \frac{h_x}{h}}</math></p>
8	Două captatoare orizontale paralele la distanța $a$ și cu înălțimea maximă la punctele de susținere $h$		<p>- <math>r_x</math> ca la pct. 7</p> <p><math>h_0 = h - \frac{a}{4}</math></p>

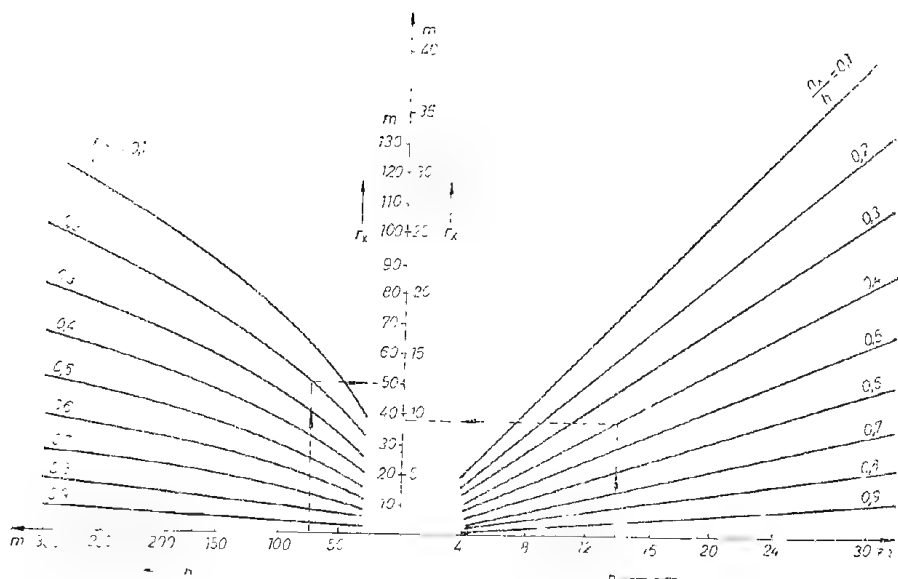


Fig. 10.4. Calculul nomografic al zonei de protecție pentru o IPT realizată cu un captator vertical.

— sistemul de coamă (de creastă) se folosește la acoperișuri cu pante (1, 2 sau 4 pante), cu sheduri sau cu sheduri de coamă, la care coama acoperișului depășește marginea sa cu mai mult de 1 m.;

— sistemul cu tijă (captator) se folosește pentru acoperișurile în formă de cort sau cu coamă scurtă, pentru elementele proeminente ale construcțiilor precum și pentru construcții în formă de turn sau alte cazuri similare.

Sistemul de captare de tip rețea va avea ochiurile de maximum  $20 \times 20$  m, conductele fiind dispuse astfel încât nici unul din punctele acoperișului să nu fie la o distanță mai mare de 10 m față de aceste conducte.

Alegerea tipului sistemului de dispunere a conductelor de captare se va face avându-se în vedere ca sistemul ales să asigure în condiții tehnico-economice judicios stabilite, zona de protecție cerută. Aceasta se verifică conform tabelului 10.3 sau nomogramelor date în figurile 10.4, 10.5 și 10.6. Sistemele de dispunere a conductelor de captare pot fi combinate.

#### 10.4.2. ELEMENTE DE COBORÎRE

Ca elemente de coborîre se utilizează în primul rând elementele metalice ale construcției respective iar dacă acestea nu îndeplinesc condițiile impuse, se prevăd conducte speciale de coborîre, cu respectarea condițiilor din paragraful 10.3.2. Materialele și dimensiunile acestora se aleg conform tabelului 10.1.

Numărul conductelor de coborîre principale și dispunerea lor pe clădirea respectivă se aleg pe baza tabelului 10.2, avându-se în vedere următoarele:

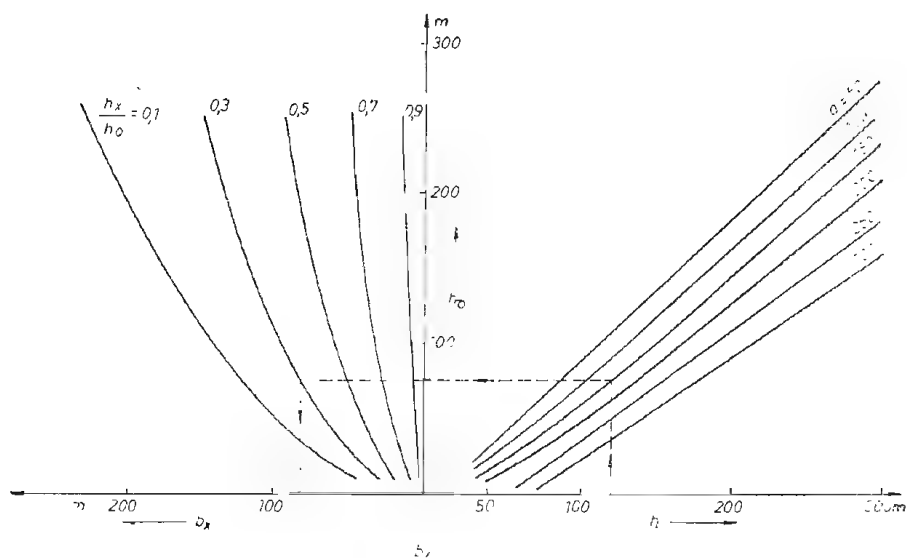
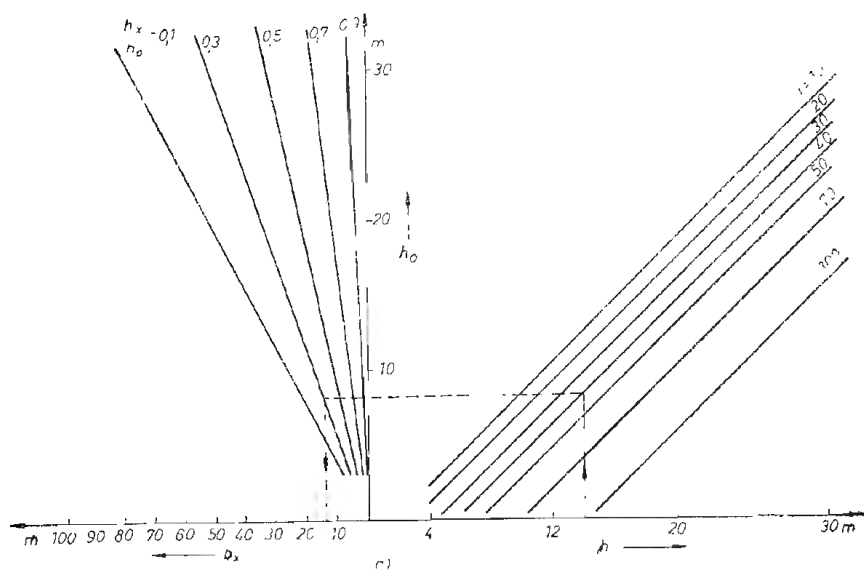


Fig. 10.5. Calculul nomografic al zonei de protecție pentru o IPT realizată cu două captatoare verticale situate la distanța  $a$ :  
 $a - h < 30$  m;  $b - h > 30$  m.

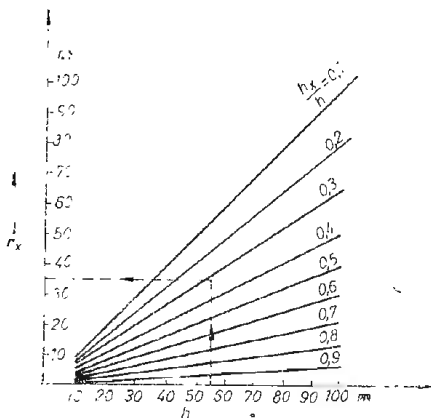


Fig. 10.6. Calculul nomografic al zonei de protecție pentru o IPT realizată cu un captator orizontal suspendat.

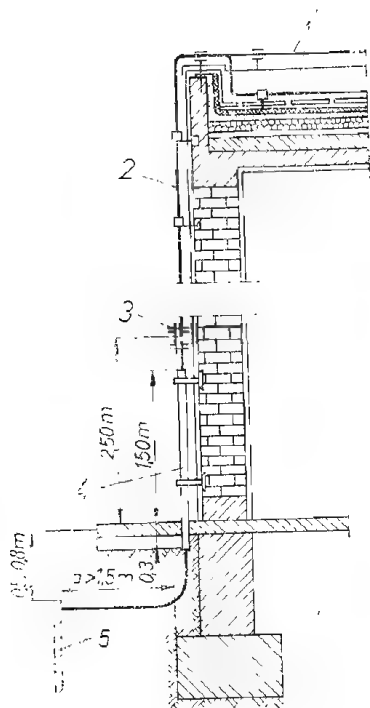


Fig. 10.7. Montarea IPT pe clădiri:  
1 — dispozitiv de captare; 2 — dispozitiv de coborîre; 3 — piesă de separație; 4 — elemente de protecție; 5 — priza de pământ.

— coborîrile vor fi prevăzute, atunci cînd este posibil, la colțurile clădirii, pe diagonală;

— o conductă de captare de coamă va avea coborîri la fiecare 20 m, dar cel puțin două coborîri dispuse la muchiile clădirii; dacă sînt numai două coborîri, se recomandă ca ele să fie dispuse în direcție opusă (în formă de Z);

— la clădirile cu IPT normale, cu înălțimea de cel mult 20 m și cu lungimea pînă la 48 m, se admite o abatere de maximum 4 m la distanța normată de 20 m între coborîri.

### 10.4.3. PRIZA DE PĂMÎNT

În scopul folosirii prizelor de pămînt naturale pentru IPT, se va prevedea din faza de proiect și se vor asigura prin execuție următoarele:

— realizarea unei continuități electrice între elementele conductoare electrice ale prizelor naturale;

— o secțiune totală minimă de 100 mm<sup>2</sup>;

locuri de acces la elementele respective, pentru racordarea coborîrilor (prin piese de racord corespunzătoare) și pentru efectuarea măsurătorilor de verificare (prin cel puțin două piese de racord); aceste piese vor fi legate de elementele respective prin legături de rezistență neglijabilă și vor fi înglobate în construcție în locuri corespunzătoare, de obicei spre exterior.

În cazul utilizării prizelor artificiale, acestea se vor proiecta conform cap. 9, pe baza indicațiilor date în paragraful 10.3.3. Priza de pămînt artificială a IPT va fi instalată la o distanță de minim 1,5 m și maxim 5 m de la fundația construcției respective și va fi îngropată la cel puțin 0,5 m de la suprafața solului.



La priza de pământ comună a IPT se vor lega toate prizele de pământ naturale și artificiale ale altor instalații la care este permisă utilizarea unei prize comune, găsite la o distanță mai mică de 20 m față de această rețea. De asemenea se vor lega și toate elementele metalice găsite la o distanță sub 2 m față de priza comună.

Suprastructurile metalice ale clădirilor fără IPT vor fi legate la priza de pământ a instalației electrice din clădirea respectivă cu o rezistență de dispersie de cel mult 4 ohmi, conductele de legătură la priză fiind distincte de cele ale instalației electrice, cu excepția clădirilor cu schelet metalic sau din beton armat la care scheletul metalic sau armăturile pot fi utilizate drept legături comune la priza de pământ.

Un exemplu de realizare a IPT cu elemente special prevăzute în acest scop este dat în figura 10.7.

## BIBLIOGRAFIE

1. Albert, Hermina ș.a. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale*. București, Editura tehnică, 1979.
2. Badea, I. ș.a. *Protecția prin relee și automatizarea sistemelor electrice*. București, Editura tehnică, 1973.
3. Balaurescu, D., Eremia, M. *Îmbunătățirea factorului de putere*. București, Editura tehnică, 1982.
4. Bădulescu, N. *Linii și stații electrice — îndrumător*. București, Editura tehnică, 1967.
5. Bercovici, M. ș.a. *Rețele electrice, calculul electric*. București, Editura tehnică, 1974.
6. Bianchi, C. ș.a. *Proiectarea instalațiilor de iluminat electric*. București, Editura tehnică, 1981.
7. Cănescu, T. ș.a. *Aparate electrice de joasă tensiune. Îndreptar*. București, Editura tehnică, 1977.
8. Chiriță, G., Alexe, C. *Cartea instalatorului electrician*. București, Editura tehnică, 1970.
9. Comșa, D. ș.a. *Proiectarea instalațiilor electrice industriale*. București, 1979.
10. Comșa, D., Maier, V. *Instalații electrice industriale, lucrări practice*. Cluj-Napoca, Litografia Institutului politehnic Cluj-Napoca, 1976.
11. Comșa, D. *Utilizări ale energiei electrice*. București, 1973.
12. Costăchescu, T. ș.a. *Instalații electrice pentru construcții*. Ghid de proiectare și execuție. Craiova, Ed. Scrisul Românesc, 1978.
13. Darie, S. ș.a. *Producerea și distribuția energiei electrice*. Cluj-Napoca, Litografia Institutului politehnic Cluj-Napoca, 1977.
14. Darie, S. ș.a. *Centrale și rețele electrice, îndrumător de calcul al curenților de scurt-circuit*. Cluj-Napoca, Litografia Institutului politehnic Cluj-Napoca, 1972.
15. Fedorov, A. A. ș.a. *Alimentarea cu energie electrică a întreprinderilor industriale* (trad. din lb. rusă). București, Editura tehnică, 1965.
16. Gheorghiu, N., Militaru, P. *Teoria și practica iluminatului electric*. București, Editura tehnică, 1970.
17. Gheorghiu, S. *Prețul în construcții*. București, Editura tehnică, 1979.
18. Grzybowski, S. ș.a. *Condensatoare în electroenergetică* (trad. din lb. polonă). București, Editura tehnică, 1966.
19. Herșcovici, B. ș.a. *Aparate electrice de înaltă tensiune, îndreptar*. București, Editura tehnică, 1978.
20. Manea, A., Scărlătescu, M. *Aparate electronice pentru protecția muncii*. București, Editura tehnică, 1976.
21. Nitu, V. ș.a. *Instalații electrice ale centralelor și stațiilor*. București, Editura tehnică, 1972.

22. Pietrăreanu, E. *Construcția și exploatarea rețelelor de cabluri în întreprinderile industriale*. București, Editura tehnică, 1973.
23. Pietrăreanu, E. *Tablouri electrice de distribuție de joasă tensiune*. București, Editura tehnică, 1975.
24. Pietrăreanu, E. *Agenda electricianului*. Ediția a III-a. București, Editura tehnică, 1979.
25. Popescu, C. *Proiectarea organizării șantierelor*. București, Editura tehnică, 1976.
26. Vasilache, G. *Sisteme de protecție împotriva tensiunilor electrice accidentale*. București, Editura tehnică, 1980.
28. \* \* \* *Îndrumător tehnic pentru instalații. Mapa de instalații pentru construcții electrice*. ISART, București, 1974.
29. \* \* \* ICCPDC. *Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor de protecție contra trăsnetului a construcțiilor*, I. 120—79. București, 1979.
30. \* \* \* IGSC. *Normativ privind modul de încadrare în devize a utilajelor, echipamentelor, aparaturilor, mecanismelor și aparatelor din instalațiile complexe, liniile tehnologice de fabricație și alte instalații* (Ordinul IGSC nr. 29 din 2 oct. 1973).
31. \* \* \* INCERC. *Normativ privind modul de întocmire a devizelor pe categorii de lucrări și pe obiecte pentru lucrările de construcții-montaj*, P 91—76.
32. \* \* \* INCERC. *Normativ privind proiectarea și executarea instalațiilor electrice la consumatori, cu tensiuni până la 1000 V*, I. 7—78. București, 1978.
33. \* \* \* M.E.E. *Instrucțiuni pentru dimensionarea și verificarea instalațiilor electroenergetice la solicitări mecanice și termice, în condițiile curenților de scurtcircuit*, PE — 102/69 (15—2—69).
34. \* \* \* M.E.E. *Instrucțiuni pentru paza contra incendiilor pentru ramura energiei electrice și termice*, PE — 009/76.
35. \* \* \* M.E.E. *Instrucțiuni pentru proiectarea stațiilor de conexiuni și transformare*. PE — 111/69, vol. I ... V.
36. \* \* \* M.E.E. *Instrucțiuni pentru proiectarea și execuția instalațiilor de legare la pământ*. București, 1970.
37. \* \* \* M.E.E. *Instrucțiuni privind alegerea schemelor electrice de conexiuni ale stațiilor de 110, 220 și 400 kV*. PE — 133/71, București, 1974.
38. \* \* \* M.E.E. *Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive la consumatorii industriali și similari*. PE — 931/75.
39. \* \* \* M.E.E. *Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive în rețelele de distribuție exploatate de IRE*. PE 120/75.
40. \* \* \* M.E.E. *Instrucțiuni privind determinarea secțiunii economice a conductoarelor în instalațiile electrice de distribuție 1—110 kV*. PE 135—81.
41. \* \* \* M.E.E. *Îndrumar privind determinarea daunelor provocate de întreruperea în alimentarea cu energie electrică la consumatorii industriali*. ODE, București, 1973.
42. \* \* \* M.E.E. *Normativ pentru construcția instalațiilor electrice de conexiuni și transformare cu tensiuni peste 1 kV*. PE — 101/71.
43. \* \* \* M.E.E. *Normativ pentru proiectarea și execuția rețelelor de cabluri electrice*. PE 107/78.
44. \* \* \* M.E.E. *Normativ privind alegerea izolației, coordonarea izolației și protecția instalațiilor electroenergetice împotriva supratensiunilor*. PE 109—74.
45. \* \* \* M.E.E. *Normativ privind alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali și similari*. PE — 124/78, București, 1978.
46. \* \* \* M.E.E. *Normativ privind elementele de calcul a siguranței în funcționare a instalațiilor energetice*. PE—013/73.
47. \* \* \* M.E.E. *Normativ privind metodele și elementele de calcul a siguranței în funcționare a instalațiilor energetice*. PE—013/72.

48. \* \* \* M.E.E. *Normativ privind proiectarea instalațiilor de protecție prin relee și automatizare.* PE—501/69.
49. \* \* \* M.E.E. *Normativ privind proiectarea și executarea construcțiilor și instalațiilor energetice din punct de vedere al prevenirii incendiilor.* PE—010/74.
50. \* \* \* M.E.E. *Normativ privind stabilirea puterilor nominale economice pentru transformatoarele din posturi.* PE 145—79.
51. \* \* \* M.E.E. *Normativ republican privind folosirea rațională a energiei electrice la iluminatul artificial precum și în utilizările casnice.* PE 136—74.
52. \* \* \* M.E.E. *Norme de protecția muncii în instalațiile electrice.* PE—119/71.
53. \* \* \* M.E.E. *Prescripții pentru protecția contra supratensiunilor a instalațiilor electrice cu tensiuni peste 1000 V.*
54. \* \* \* M.E.E. *Regulament de exploatare tehnică a centralelor și rețelelor electrice.* PE—001/67 (R1—67).
55. \* \* \* M.E.E. *Subansambluri pentru stații de 110 kV tip racord adânc, circuite primare.* E 189—72, ISPE.
56. \* \* \* M.E.E. — C.I.E.E.T. *Norme de conținut pentru întocmirea documentațiilor tehnico-economice.* Iunie, 1977.
57. \* \* \* M.E.E. — ICEMENERG. *Metodologie privind determinarea soluțiilor optime de distribuție a energiei electrice prin rețele de medie și joasă tensiune pentru marii consumatori industriali.* București, 1974.
58. STAS 2612-72. *Protecția împotriva electrocutărilor. Limite admise.*
59. STAS 4102-73. *Piese pentru instalații de protecție prin legare la pământ sau la nul.*
60. STAS 6119—78. *Instalații electrice de joasă tensiune. Instalații de legare la pământ de protecție. Prescripții.*
61. STAS 6616—78. *Instalații electrice de joasă tensiune. Instalații de legare la nul de protecție. Prescripții.*
62. STAS 6755-74. *Automatică. Semne și simboluri convenționale.*
63. STAS 7070-74. *Instalații de automatizare. Reguli pentru întocmirea documentației tehnice desenate.*
64. STAS 7334-78. *Instalații electrice de 1000 V și peste 1000 V. Instalații de legare la pământ de protecție. Prescripții.*
65. STAS 7944-79. *Bare conductoare de curent. Curenți maximi admisibili de durată. Prescripții.*
66. STAS 8275-78. *Protecția împotriva electrocutărilor. Terminologie.*
67. STAS 9637-74. *Instalațiile electrice ale clădirilor. Terminologie.*
68. STAS 9638-74. *Marcarea conductoarelor izolate pentru identificarea circuitelor instalațiilor electrice.*
69. STAS 10636-76. *Marcarea alfa-numerică a bornelor aparatelor și instalațiilor electrice și extremităților conductoarelor. Dimensiuni.*

Coli de tipar: 32,5.

Format: 16/70×100.

Bun de tipar: 15. VII. 1983.

Ediția: 1983. Nr. plan 9376.



Întreprinderea Poligrafică Cluj  
B-dul Lenin Nr. 146  
Municipiul Cluj-Napoca  
Republica Socialistă România  
Comanda nr. 76